UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas

FC
Facultad de
Contrucciones

Departamento Ingeniería Civil

Título Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la retracción producida en hormigones fluidos de 35MPa

Autores: Reidel Groero Peña

Tutores: MSc. Ing. María Betania Díaz García

Santa Clara, junio 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual

Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a CamajuanÍ. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-141

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Diploma

Título: Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la retracción producida en hormigones fluidos de 35MPa

.

Autor: Reidel Alexandre Groero Peña

Tutor: MSc. Ing. María Betania Díaz García

Curso 2017-2018

PENSAMIENTO

"Se curioso, y por muy difícil que te parezca la vida, siempre hay algo que puedas hacer y en lo que puedes tener éxito. Lo único que cuenta es no rendirse".

Stephen Hawking

DEDICATORIA

A una persona muy especial, mi abuelo Ramiro Groero que aunque no se encuentre conmigo físicamente siempre estará junto a mí por toda la vida, y en estos momentos donde quiera que esté sé que se siente muy orgulloso por haber cumplido el sueño de ser ingeniero civil.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia que cada uno si excepción aporto su granito de arena para logra mi meta

A mi papa, por su ejemplo como padre y ser humano, por su presencia incondicional, porque es su esfuerzo el que q ha labrado mi camino y apartado los obstáculos, por eso constituye el mayor responsable de mi éxito.

A mi mama, por apoyarme siempre para yo salir adelante, aunque no esté siempre junto a ella.

A mis hermanos Suyen, Yan Carlo, Kristel y sobrina Stefany, por acompañarme en la vida y regalarme alegrías, porque se q siempre estarán ahí para mí.

A mi abuelita Victoria, por ser, más que una abuela, una madre.

A mis abuelos Peña y la Niña. Por su dedicación en todos estos años.

A Ileana por regalarme su cariño desde la infancia y porque sé que también está orgullosa de mí.

A Héctor, por los todos buenos momentos que hemos vivido juntos.

A mi segunda familia Yanet, Jorgito, Lyangel, Milagros, Jorge, Felito, Yanka, Yamila, Osdany, Adolfo por permitirme entrar en su hogar como un hijo más, por convertirme en su niño.

A mi Lya por estar a mi lado siempre por sacarme de momentos en que pensaba que no podía salir por su cariño por todas las cosas bonitas que hemos vivido por ser mi pareja, mi mejor amiga.

A mi tutora, por el apoyo constante, por convertirse en una gran amiga cuando más lo necesite.

A mis amigos, especialmente, Migue, por ser el compañero fiel de las viejas batallas y de las q están por venir.

A mis amigas Laura y Adriana, por todos los buenos recuerdos que construimos juntos.

A todos los profesores que de una forma u otra han contribuido a mi formación profesional.

RESUMEN

Los Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) son en la actualidad, junto con los aditivos, las soluciones más sostenibles que se trabajan para lograr hormigones de altas prestaciones y más resistentes a ambientes agresivos. Esta investigación se centra en la introducción de las adiciones puzolánicas en las construcciones hoteleras de Cayo Santa María, en la provincia de Villa Clara, Cuba. Después de algunos estudios se demuestra que la fabricación de hormigón con cementos puzolánicos puede disminuir la aparición de fisuras debido a la retracción, fenómeno muy común en las zonas costeras del país. Por todo esto se decide evaluar la introducción de LC^2 (arcilla calcinada, caliza y yeso) como adición puzolánica en hormigones fluidos de 35 MPa. El trabajo se divide en tres etapas fundamentalmente para lograr evaluar la introducción del LC^2 como adición al 15% y 30%. En la primera etapa se elabora el diseño teórico-metodológico, en la segunda etapa se lleva a cabo los ensayos para determinar las propiedades del hormigón en estado fresco como consistencia por el Cono de Abrams, en estado endurecido resistencia a los 7 y los 28 días y la retracción mediante el canal y por la ASTM C-157; los resultados de todos estos ensayos se analizan en la tercera etapa. De esta forma, se pone a disposición un estudio sobre el efecto de la adición puzolánica LC^2 en las propiedades de hormigones fluidos de 35 MPa y se logra disminuir el consumo de cemento tan perjudicial para el medio ambiente.

ABSTRACT

Supplementary Cementitious Materials (MCS) is, at the present time, together with the additives, the most sustainable solutions that are worked to achieve concretes of high benefits and more resistant to aggressive atmospheres. This investigation is centered in the introduction of the pozzolanic additions in the constructions of Cayo Santa MarÍa, in Villa Clara, Cuba. After, some studies it is demonstrated that the concrete production with pozzolanic cements can reduce the appearance of fissures due to the retraction, very common phenomenon in the coastal areas of the country. For all this we decide to evaluate the introduction of LC^2 (calcine clays, limestone and plaster) like pozzolanic addition in flowing concretes of 35 MPa. The work is divided fundamentally in three stages to be able to evaluate the introduction of LC^2 like addition to 15% and 30%. In the first stage the theoretical-methodological design is elaborated, in the second stage it is carried out the tests to determine the properties of the concrete in fresh state as consistency for the Cone of Abrams, in state compressive strength to the 7 and the 28 days and the retraction with the channel and for ASTM C-157; the results of all these tests are analyzed in the third stage. This way, we start to disposition a study on the effect of the pozzolanic addition LC^2 in the properties of flowing concretes of 35 MPa and it is possible to diminish the consumption of so harmful cement for the environment.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

Capítulo I: Efecto de las adiciones puzolánicas artificiales al Cemento Portland ordinario en la elaboración de hormigones. 6

1.1 Hormigón. Generalidades 6

1.2 Componentes del hormigón. Características y funciones 6

1.2.1 Agua 7

1.2.2 Cemento 7

1.2.3 Áridos 8

1.2.4 Aditivos 8

1.2.5 Fibras 9

1.2.6 Adiciones 10

1.3 Las Puzolanas 10

1.3.1 Tipos de puzolanas 10

1.4 La arcilla como material puzolánico artificial 12

1.4.1 Activación de arcillas 13

1.5 Reacción puzolánica en el proceso de hidratación del cemento portland 14

1.5.1 Condiciones que afectan la reacción puzolánica 15

1.5.2 Efectos de la reacción puzolánica en las propiedades del hormigón 16

1.6 Retracción en el hormigón 18

1.6.1 Tipos de retracción 19

1.7.1 Contenido de Cemento 23

1.7.2 Relación agua cemento 24

1.7.3 Tipo y contenido de áridos 24

1.7.4 Proceso de curado 25

1.7.5 Geometría del elemento 25

1.7.6 Humedad relativa 26

1.8 Medidas para disminuir la retracción por secado 26

1.8.1 Construcción de juntas 26

1.8.2 Reducción del contenido de agua 26

1.8.3 Reducción del contenido de cemento 26

1.8.4 Mejorar las propiedades de los áridos 27

1.8.5 Utilización de aditivos controladores de retracción 27

1.8.6 Adición de fino (puzolana) 27

1.9 Conclusiones parciales del capítulo 28

Capítulo II: Uso de la puzolana artificial (LC^2) en la producción de hormigones fluidos de 35 MPa. 29

2.1 Introducción 29

2.2 Diseño del plan experimental 29

2.2.1 Los agregados (áridos) 31

2.2.2 Cemento Portland 34

2.2.3 Adición mineral LC^2 35

2.2.4 Agua 36

2.2.5 Aditivo SikaPlast 36

2.3 Dosificaciones empleadas en el experimento 37

2.4 Proceso de fabricación de muestras 37

2.4.1 Preparación de los moldes 37

2.4.2 Revestimiento de los moldes con líquido desencofrante 38

2.4.3 Pesaje de los materiales. 39

2.4.4 Llenado de moldes y compactación del hormigón 39

2.4.5 Desencofrado y curado de las probetas 40

2.5 Ensayos en estado fresco 41

2.5.1 Cono de Abrams 41

2.6 Ensayos en estado endurecido 42

2.6.1 Ensayo de resistencia a compresión a los 7 y 28 días 42

2.6.2 Ensayo de retracción ASTM C-157 44

2.6.4 Ensayo del canal de retracción 46

2.7 Conclusiones Parciales del Capítulo 48

Capítulo III: Introducción del LC^2 como adición puzolánica en hormigones fluidos. 49

3.1 Introducción 49

3.2 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la consistencia. Ensayo del cono de Abrams 49

3.2.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15%. Consistencia 49

3.2.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en el asentamiento 50

3.2.3 Análisis de la adición puzolánica LC^2 en la consistencia 51

3.3 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la resistencia mecánica. Ensayo de la resistencia a compresión 52

3.3.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15% en la resistencia a compresión 53

3.3.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en la resistencia a compresión... 54
3.4 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la retracción por secado. Ensayo del ASTM C-157 54
3.4.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15% en la retracción por secado..... 55
3.4.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en la retracción por secado..... 57
3.5 Conclusiones parciales del Capítulo 59
CONCLUSIONES GENERALES 60
RECOMENDACIONES 61
BIBLIOGRAFÍA 62
ANEXOS 65

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, tratar de temas como el hormigón, quizás pueda parecer innecesario, dado que todos conocemos los elementos que lo componen, sus características fundamentales en estado fresco y endurecido, además de cómo elaborarlo y hacer su control de calidad; sin embargo, es importante profundizar en ciertos conceptos que permitirán entender cómo se pueden fabricar hormigones más durables, económicos y que generen menor impacto al medio ambiente. (Sika, 2016)

La fabricación de cementos con adiciones controladas de materiales puzolánicos, tanto naturales como artificiales, es una práctica muy extendida en la actualidad, en el empeño de obtener aglomerantes y estructuras más resistentes y estables, en los aspectos físico y químico, que satisfagan las exigencias de las tecnologías en la construcción moderna, tanto en superficie, subterráneas como en contacto con los entornos marinos y suelos altamente contaminados. (Costafreda, 2011)

Entre los materiales utilizados como puzolanas, se encuentran las arcillas activadas térmicamente, el rango de temperaturas para su activación (550 °C a 900 °C) es inferior a la temperatura de clinkerización (1450 °C), lo que implica un menor consumo de energía con la consecuente disminución en la emisión de CO_2. Además, uno de los productos de reacción en la activación de las arcillas es H_2O y no CO_2 como en el caso del clínker. Por lo tanto un remplazo parcial de cemento por puzolanas contribuye a la disminución de la cantidad de clínker utilizado y de esta manera disminuye la emisión de CO_2, mejoran además, cuando se utiliza en el porcentaje adecuado y poseen las características requeridas, la resistencia y durabilidad (Tironi, 2013)

El uso de este tipo de materiales también favorece la protección de las construcciones ya que, por ejemplo, desarrollan en su estructura microporos no intercomunicados y, por tanto, hacen el hormigón más impermeable.(Alonso, 2018).

En el proyecto Development of Ecomaterials for Low Cost Housing, llevado a cabo entre 2009-2017 por la Escuela Politécnica Federal de Lausana y la Universidad

Central Marta Abreu de Las Villas, se obtuvieron resultados interesantes al evaluar las propiedades puzolánicas de un suelo arcilloso cubano de carácter multi-componente, luego de ser activado térmicamente. Como salida principal del proyecto se demostró que la fracción arcillosa más influyente es la correspondiente a la caolinita, que puede ser activada a temperaturas relativamente bajas (800ºC) y que para suelos arcillosos con contenidos de caolinita del 40 % se puede obtener un material reactivo que permite sustituciones de hasta un 30 % del cemento, sin comprometer sus propiedades mecánicas y su durabilidad.

Como continuidad de esta investigación, el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) propone un estudio sobre la evaluación de la retracción por secado en hormigones elaborados con la adición puzolánica de LC^2 que no es más que arcilla calcinada, caliza y yeso a diferentes proporciones. Se pretende con esta investigación lograr un hormigón más duradero y estable ante las condiciones ambientales existentes en Cuba, permitiendo alargar la vida útil de las edificaciones y reducir los costos de mantenimiento y reparaciones. Todo esto nos lleva a plantear el siguiente **Problema científico**:

¿En qué medida influye la adición puzolánica LC^2 al 15 y 30% de sustitución al cemento, en la retracción por secado en hormigones fluidos de 35MPa?

Objeto de estudio

Retracción por secado.

Campo de acción

Hormigones producidos LC^2 como adición mineral.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición puzolánica LC^2 al 15 y 30% en la retracción por secado en hormigones fluidos de 35MPa**.**

Objetivos específicos

1. Analizar las características físico – mecánicas de hormigones producidos con las adiciones puzolánicas.
2. Determinar la influencia en la retracción producida en hormigones elaborados con adición mineral activa de LC^2 al 15 y 30% de sustitución.

3. Evaluar el efecto de la adición puzolánica LC^2 en la retracción por secado en hormigones producidos en la ECOT Cayo Santa María.

Hipótesis

Si se emplea la adición puzolánica LC^2 como sustitución del 15 y 30% del cemento, se logra obtener hormigones fluidos de más de 35MPa, sin que se vean comprometidas las propiedades y la durabilidad de los mismos.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se plantean las siguientes **tareas de científicas**:

Etapa I:

- Elaboración del Diseño teórico metodológico.
- Revisión bibliográfica de literatura actualizada sobre adiciones de puzolanas naturales al hormigón y su influencia en las propiedades del mismo.

Etapa II:

- Definición del diseño de experimento.
- Selección y obtención de los materiales para ensayos a los hormigones.
- Selección de los elementos estructurales para el análisis de cada variable.
- Valoración de las dosificaciones para el estudio de la retracción en hormigones producidos con LC^2 como adición puzolánica.
- Realización de los ensayos de los hormigones en estado fresco. (Cono de Abrams)
- Fabricación de especímenes a escala de laboratorio.
- Realización de los ensayos de los hormigones en estado endurecido (Resistencia, retracción por ASTM y Canal)

Etapa III:

- Procesamiento de los resultados experimentales.
- Entrega y discusión del trabajo de diploma.

Novedad Científica:

El uso la adición puzolánica LC^2 al 15 y 30%, permite obtener una solución práctica como sustituto parcial del cemento portland y con ello alcanzar

hormigones fluidos de 35MPa que se producen en el polo turístico de Cayo Santa María.

Aportes de la investigación:

- ✓ Aporte práctico: Brinda una solución práctica donde la adición LC^2, se utiliza para disminuir la fisuración debido a la retracción por secado en hormigones, lo que posibilita estructuras más durable y resistentes a las acciones agresivas del medio ambiente.
- ✓ Aporte económico: Logra una reducción de gastos económicos en reparaciones estructurales debido a la fisuración de elementos de hormigón y al sustituir parcialmente el cemento portland, disminuye el costo del metro cúbico de hormigón.

Estructura del Trabajo de Diploma.

- **Resumen**.
- **Introducción**: Se detallan todos los aspectos teóricos metodológicos de la investigación.
- **Capítulo I**: Efecto de las adiciones puzolánicas artificiales al Cemento Portland ordinario en la elaboración de hormigones.

Se hace referencia al hormigón y sus componentes, con énfasis en los hormigones elaborados con adición puzolánica. El efecto de las adiciones en el proceso de hidratación, en las propiedades físico mecánicas del hormigón, así como la ventaja de su uso ante el fenómeno de retracción.

- **Capítulo II**: Uso de la puzolana artificial (LC^2) en la producción de hormigones fluidos de 35MPa.

Detalla las características y selección de los materiales a emplear en el diseño y la fabricación de elementos, así como los procedimientos de ensayos, mediante el uso de equipos e instrumentos adecuados para la medición de las propiedades.

- **Capítulo III**: Influencia de la adición puzolánica LC^2 en las propiedades de los hormigones fluidos.

Expone los resultados obtenidos en los ensayos y su interpretación para el empleo la adición mineral LC^2 en la fabricación de hormigones.

- **Conclusiones**.
- **Recomendaciones**.
- **Referencias bibliográfica**

Capítulo I: Efecto de las adiciones puzolánicas artificiales al Cemento Portland ordinario en la elaboración de hormigones

1.1 Hormigón. Generalidades

Desde su invención en el siglo XIX, el hormigón se ha convertido en el material estructural más utilizado. Su evolución desde las primeras construcciones empíricas con grandes errores de diseño hasta los actuales tipos especializados para cada aplicación ha transcurrido un siglo largo que lo ha consolidado como un material de altas prestaciones. Estas evoluciones es el resultado de las investigaciones llevadas a cabo en los planos químicos, físicos, mecánicos y estéticos (Técnica., 2007)

El hormigón es un material de construcción que se diseña bajo unas normas específicas dependiendo del proyecto que se vaya a utilizar y con las características de economía para un determinado fin. El hormigón se elabora a base de diseños con trabajos de ingeniería y que por esta condición están sujetos a cambios, modificaciones y la optimización del producto. Es la única roca fabricada por el hombre y de la cual existen muchas clases dependiendo de sus componentes, como es el caso del cemento Portland, que es el más barato y fácil de manejar, siendo el único que adquiere las características de la roca en cuanto a su resistencia a la compresión, duración, impermeabilidad, peso unitario, dureza y apariencia. (Jarre, 2017)

1.2 Componentes del hormigón. Características y funciones

El hormigón sigue fabricándose hoy con las mismas materias primas básicas (cemento, agregados y agua); sin embargo, componentes como las adiciones, aditivos químicos y fibras son cada vez más usados permitiendo el desarrollo de nuevos tipos de mezclas que presentan mejores características que el hormigón tradicional; ya que permiten la fabricación de un material más durable, económico y que busca contribuir con las exigencias actuales de sustentabilidad.(Sika, 2016)

1.2.1 Agua

No debe contener componentes dañinos que afecten a las propiedades del hormigón o la protección frente a la corrosión. (Blazquez, 2010) .Se le añade a la mezcla, junto con los demás componentes del hormigón con el objetivo de: hidratar los componentes activos del cemento, actuar como lubricante haciendo posible que la masa sea trabajable y, crea espacio en la pasta para los productos de la hidratación. (Edificación, 2013)

Esta se divide en agua de amasado y agua de curado

Agua de amasado

Es el agua que participa, en las reacciones de hidratación del cemento y además confiere al hormigón la trabajabilidad para su correcta puesta en obra. Su cantidad debe limitarse al mínimo necesario, pues el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón y disminuye su resistencia. (Edificación, 2013)

Agua de curado

Es el agua que se añade para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación. Debe ser abundante durante el proceso de curado. (Edificación, 2013)

1.2.2 Cemento

El cemento es el material mineral finamente molido, que después de ser mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, después de endurecer, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua, según la (NC:120, 2014) Hormigón Hidráulico. Especificaciones.

Existen varios tipos de cementos. Las propiedades de cada uno de ellos están íntimamente asociadas a la composición química de sus componentes iniciales, que se expresan en forma de sus óxidos, y que según cuales sean, formarán compuestos resultantes distintos en las reacciones de hidratación. (Quiñones, 2016)

El cemento tiene como función:

- Constituir la matriz que permite la unión del esqueleto de material de relleno, o sea llenar los huecos del árido, aglomerándolo.
- La pasta en estado fresco, lubrica y da cohesión.
- La pasta endurecida, tapona los huecos del árido dando impermeabilidad.
- Proporciona resistencia al hormigón endurecido. (Torres, 2017)

1.2.3 Áridos

Material mineral granular adecuado para su uso en el hormigón. Pueden ser naturales, artificiales o reciclados a partir de materiales previamente utilizados en la construcción.(NC:120, 2014) Hormigón Hidráulico. Especificaciones.

Los áridos son divididos según su tamaño en áridos finos y gruesos. Se les denomina árido fino a los tamaños menores del árido, considerándose como tal la fracción de árido que pasa por el tamiz 4,76mm. (NC:251, 2013). Árido grueso es la denominación dada a los tamaños mayores del árido, considerándose como tal la fracción de árido que queda retenida en el tamiz 4,76mm. (NC:251, 2013)

Los áridos constituyen una parte importante en el hormigón, no sólo en el orden cuantitativo, ya que constituyen generalmente más del 75% del volumen del mismo, sino también cualitativo. En ocasiones, suele presentarse simplemente como un material de relleno, sin embargo, los mismos tienen también una importante función técnica en propiedades de los hormigones, tanto en su estado fresco como en el endurecido. La disminución de la fisuración y de las variaciones volumétricas en general, así como las propias resistencias mecánicas que se logran, se debe en gran medida a la presencia de los áridos en el aglomerado. Debe tenerse en cuenta, además, que la durabilidad y resistencia química que caracterizan al hormigón se deben principalmente a la presencia de los áridos. (Betancourt, 2013)

1.2.4 Aditivos

Los aditivos pueden definirse como una sustancia química que, añadida en una proporción menor del 5 % del peso del cemento, modifica las propiedades del

hormigón en estado fresco y/o endurecido para el mejor comportamiento en las condiciones particulares de servicio. (NC:228-1, 2005)

Se añaden antes del amasado, durante el mismo y/o posteriormente en el transcurso de un amasado suplementario. (Blazquez, 2010)**.** Estos poseen una función principal y una función secundaria.

Función principal

Producir una modificación determinada y solamente una de las propiedades del hormigón mortero o pasta.(Edificación, 2013, NC:228-1, 2005)

Función secundaria

Modificar alguna o algunas de las características de estos materiales, independientemente de la definida por la función principal. (Edificación, 2013, NC:228-1, 2005)

Según su función pueden clasificarse según la (NC:228-1, 2005) entre otros en**:**

- Reductores de agua (Plastificantes)
- Reductores de agua de alta actividad (Superplastificantes)
- Modificadores de fraguado (retardadores y aceleradores)
- Inclusores de aire
- Multifuncionales

1.2.5 Fibras

Las fibras una vez amasadas hasta conseguir una distribución discreta y uniforme, crean un material más homogéneo cuya resistencia a tracción y resistencia a la fatiga es mayor que la del hormigón tradicional. Las fibras soportan los esfuerzos a tracción, controlando la fisuración y mejorando la tenacidad. La eficacia y efectividad de estas soluciones depende del tipo de fibras. Las fibras empleadas pueden de tres tipos: minerales, orgánicas y metálicas. Las fibras más empleadas son las de acero, tanto para morteros como para hormigones que requieren mejorar su resistencia a tracción, flexión, su capacidad de absorción de energía y el control de la fisuración. Las de vidrio se usan en moteros y pastas, en capas delgadas para mejorar la resistencia a tracción. Las fibras plásticas, especialmente

las de polipropileno, se emplean en hormigones resistentes a choques o impactos. (Amador, 2015)

1.2.6 Adiciones

Según lo establecido en la (NC:120, 2014) Hormigón Hidráulico. Especificaciones. Especificaciones la adición es un material mineral finamente molido utilizado en el hormigón con el objetivo de mejorar ciertas propiedades (reológicas, mecánicas, etc.) o de conferirle propiedades especiales. Esta norma considera dos tipos de adiciones minerales:

- Tipo I aproximadamente inertes.
- Tipo II puzolánicas o hidráulicamente activas.

1.3 Las Puzolanas

Se consideran generalmente como puzolanas los materiales que, carentes de propiedades cementicias y de la actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, dan lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos. En tal sentido, las puzolanas dan propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como es la cal. Son, por consiguiente, materiales reactivos frente a la cal en las condiciones normales de utilización ordinaria de conglomerantes (morteros y hormigones). La reactividad de las puzolanas se atribuye, fundamentalmente en algunos casos, a la sílice activa que se encuentra en ellas que forman compuestos mineralógicos silícicos. (Salazar, 2015)

1.3.1 Tipos de puzolanas

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos el de las naturales y las artificiales.

Puzolanas Naturales

Para fines de la construcción, las puzolanas naturales son consideradas en general como materiales de naturaleza silícea.(Robalino, 2016). Estas se dividen en 3 grandes grupos:

- Materiales de origen volcánico o rocas piroclásticas

Las puzolanas de origen volcánico provienen de las explosiones y erupciones volcánicas. Estas se pueden encontrar en la base y cercanías de los volcanes. Se subclasifican en rocas coherentes e incoherentes, las rocas coherentes tienen una microestructura muy porosa que las hace muy reactivas. Por otra parte, las incoherentes provienen de un rápido templado, por lo que tienen un gran contenido de fase vítrea que la hace reactiva.(Cantu, 2001)

- Materiales de origen alterno o tobas puzolánicas

Estos materiales se componen de una ganga de material zeolítico, el cual se encuentra embebido dentro de una matriz muy fina, vítrea, alterada, desvitrificada. (Cantu, 2001)

Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y una molienda adecuada, entre otras, son las propiedades que justifican su uso como puzolana.(Costafreda, 2011) Según su composición se pueden encontrar tobas composición dacítica, tobas alteradas, tobas vítreas y tobas zeolíticas. Esta última se encuentra con grandes perspectivas de explotación para la producción de cementos mezclados y puzolánicos en Cuba por la gran cantidad de yacimientos distribuidos por toda la isla contribuyendo a la conservación del medio ambiente natural y humano al reducir la emisión de gases nocivos como CO_2, SO_2, porque para su obtención no se somete la materia prima a la calcinación en los hornos. (Pérez, 2011) .

- Rocas Clásticas o puzolanas de alto contenido de sílice

En este grupo se incluyen la diatomita, que es una forma de sílice amorfa hidratada compuesta de esqueletos de caparazones de algas marinas microscópicas, con un contenido de sílice cercano al 94% y de algunas rocas que representan los residuos silíceos precipitados de minerales, a los cuales se les ha extraído naturalmente los óxidos solubles.(Cantu, 2001)

Puzolanas Artificiales

Las puzolanas artificiales se clasifican en 2 grupos:

• Las que se obtienen directamente como **subproductos de otros procesos** por ejemplo las cenizas volantes (fly ash) se producen a partir del quemado de carbón

mineral pulverizado de las plantas de energía eléctrica, y la microsílice (sílice fume) que se obtiene a partir de la condensación del vapor de óxido de silicio, que se produce como subproducto del procesos de elaboración de metales de silicón y ferrosilicón usados en los hornos de alta temperatura.(Cantu, 2001)

• Las que se obtienen directamente de un **proceso de activación**, como las arcillas, esquistos y cascarillas de arroz calcinadas, y las que son activadas mediante procesos térmicos (como los caolines), químicos o mecánicos. (Cantu, 2001)

A manera de resumen en la figura 1, se muestran mediante un esquema las diferentes puzolanas. En ella se resalta las puzolanas artificiales activadas térmicamente, como proceso más efectivo.

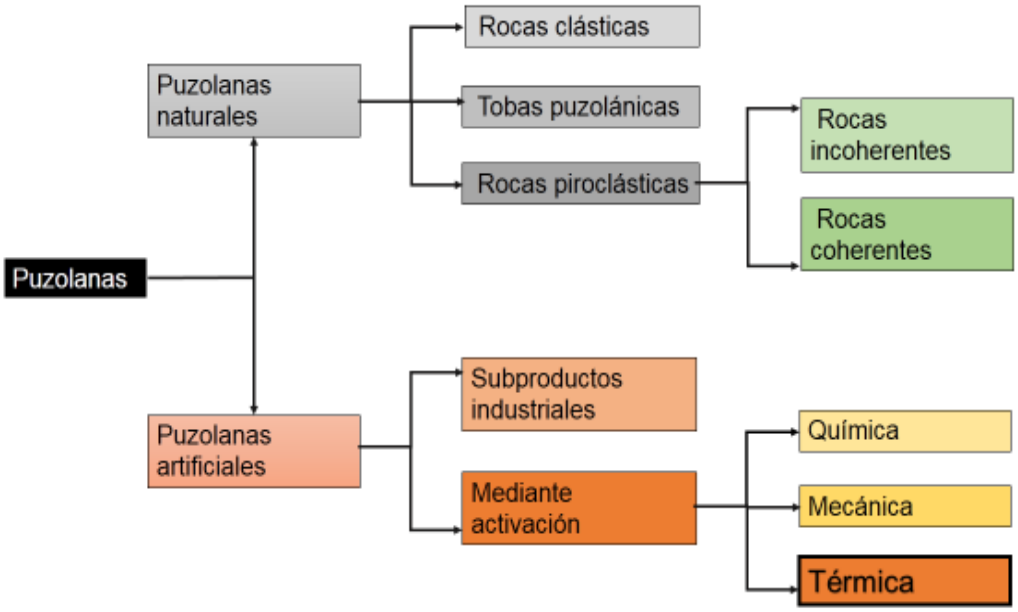


Figura 1 Tipos de puzolanas. Fuente:(Cantu, 2001)

1.4 La arcilla como material puzolánico artificial

Las arcillas en su estado natural no pueden ser usadas como puzolanas ya que presentan estructuras cristalinas estables que impiden la liberación de sílice y alúmina como especies químicas capaces de participar en la reacción puzolánica (SHI, 2001), por lo que deben ser sometidas a un proceso de activación que

puede hacerse a través de medios mecánicos, químicos o térmicos, dentro de los cuales la activación térmica es la forma más efectiva y empleada para modificar la estructura cristalina de las arcillas. Se prefieren arcillas da bajos grados de purezas que unido a un eficiente proceso energético de producción durante su calcinación contrarreste la necesidad de disponer de arcillas puras en mineral caolín como materia prima para su producción de metakaolín.(Castillo, 2010)

1.4.1 Activación de arcillas

Los procesos de activación se emplean como una alternativa que busca optimizar las propiedades fisicoquímicas de las arcillas como la capacidad de hinchamiento, las propiedades de adsorción, entre otras y ajustarlas a un uso específico. (Coral, 2013). Puede hacerse a través de medios mecánicos, químicos o térmicos, dentro de los cuales es la activación térmica la forma más efectiva y empleada para modificar la estructura cristalina de las arcillas y alcanzar el máximo potencial de reactividad puzolánica.(Shi, 2001)

Activación Química

Los métodos químicos generan, a diferencia de los métodos físicos, defectos no estequiométricos, los cuales a su vez generan reactividad en el compuesto sólido

Según estudios, la arcilla tratada con alcalinos mejora su capacidad de hinchamiento; tratada con ácidos inorgánicos, que promueven la disolución de los carbonatos asociados y la del Fe, Al y Mg, aumenta de superficie específica y de porosidad. (Coral, 2013)

Activación Mecánica

La activación mecánica se basa en la molienda como medio mecánico para activar químicamente el material, la cual puede ir desde cambios estructurales hasta descomposiciones químicas de las activaciones térmicas y químicas. (Coral, 2013)

Activación térmica

Se basan en el aumento de la reactividad del compuesto sólido debido a cambios de temperatura. Este proceso puede producir cambios en las fases cristalinas de la estructura o pérdidas de constituyentes volátiles.(Coral, 2013)

El impacto al tratar térmicamente una arcilla consiste en eliminar el contenido de agua absorbida ubicada entre las capas de arcilla, el efecto térmico efectuado permite que la estructura cristalina de los minerales arcillosos colapse y se forme una estructura de silicato de alúmina amorfa o desordenada desarrollando propiedades puzolánicas debido al incremento de la energía interna (García, 2007)

1.5 Reacción puzolánica en el proceso de hidratación del cemento portland

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO2, Al2O3 y Fe2O3) sea mayor del 70 %. Se trata de que la puzolana tenga una estructura amorfa. Es esencial que la puzolana esté finamente dividida para que la sílice pueda combinarse con los óxidos e hidróxidos de calcio.(Pérez, 2011)

La reacción o actividad puzolánica durante el proceso de hidratación del cemento básicamente puede representarse de la siguiente manera:

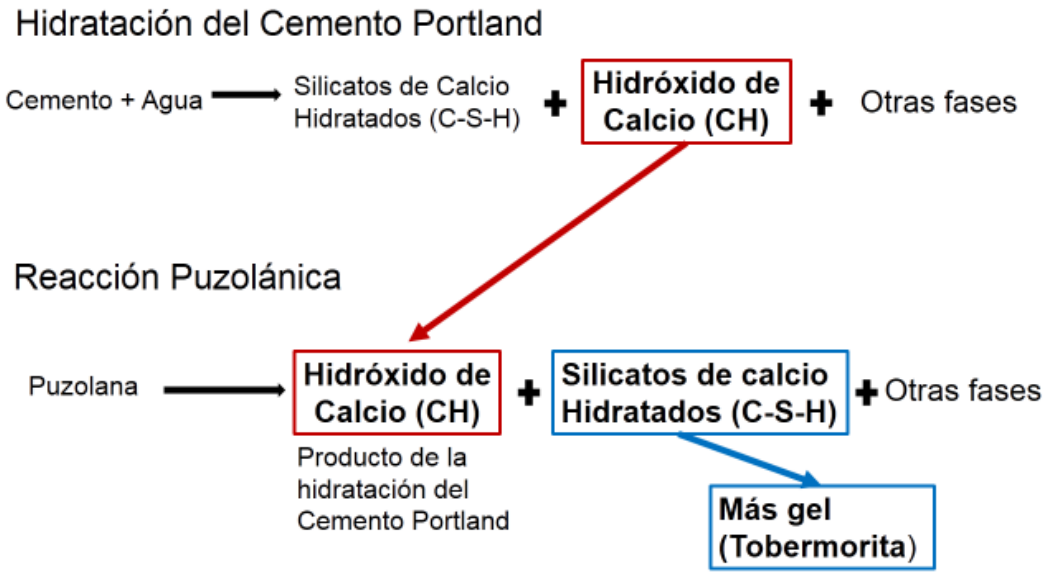


Figura 2 Reacción puzolánica en la hidratación del cemento portland.(Peña, 2018)

Básicamente, un cemento Portland en el proceso de hidratación produce gel de tobermorita e hidróxido de calcio. Un cemento con adición puzolánica hace lo mismo, pero el hidróxido de calcio, producto de la reacción con los silicatos, es consumido por el material puzolánico produciendo más gel de tobermorita; este

fenómeno otorga características adicionales al cemento con adición que no tiene el cemento Portland puro. (Latorre, 2009)

El Silicato de calcio hidratado (C-S-H) formado posee características similares al que se produce durante la hidratación de los silicatos de calcio del clínker portland. Por otra parte, la incorporación de puzolana, también produce efecto filler en las primeras edades de la hidratación, pero dependiendo del contenido de la misma en el cemento puede ser superado por el efecto de dilución. (Bonavetti, 2002)

Con el progreso de la reacción, además de la manifestación química habrá una manifestación física que consistirá en un refinamiento de poros y del tamaño de granos en la pasta de cemento. (Bonavetti, 2002). El primero es debido a la formación de productos de hidratación secundarios (principalmente silicatos de calcio hidratados) que alrededor de las partículas de puzolana, tienden a rellenar las grandes cavidades capilares con un material microporoso y, por consiguiente, de baja densidad. El segundo es por la nucleación del hidróxido de calcio alrededor de las finas y bien distribuidas partículas de puzolana que tiene el efecto de reemplazar los grandes y orientados cristales de hidróxido de calcio por numerosos, pequeños, y menos orientados cristales (de baja cristalinidad) procedentes de la reacción puzolánica.(Peña, 2018)

1.5.1 Condiciones que afectan la reacción puzolánica

La actividad puzolánica está influenciada tanto por factores inherentes a la puzolana como por otros de carácter externo. Entre los primeros se destaca la composición química y mineralógica, morfología interna, contenido de fase vítrea y finura. Entre los factores externos que influyen en la reactividad de las puzolanas se encuentran la temperatura, la incorporación de aditivos, la presencia de humedad y desde luego la calidad de la cal.(Betancourt, 2014)

Contenido de fase vítrea

La naturaleza activa de las fases y contenido de fase reactiva, la cual se ejemplifica con el óxido de silicio en forma cristalina y en estado vítreo. El compuesto en estado vítreo es sumamente reactivo, mientras que en forma cristalina de cuarzo la reacción es casi despreciable, por lo tanto, si se tuviera una

mezcla de estos dos componentes la reacción se ve favorecida cuando la mezcla tiene un mayor contenido de fase vítrea. (Cantu, 2001)

Superficie específica (grado de finura)

El tamaño de partícula y área superficial, al tener un menor tamaño de partícula la reacción se ve favorecido debido a que existe una mayor área de contacto entre los reactivos y por lo tanto la reacción se efectúa más rápidamente.(Betancourt, 2014)

Temperatura

Esta reacción se ve favorecida al incrementar la temperatura, es decir al aumentar la temperatura, aumenta el porcentaje de reacción y se incrementa la actividad puzolánica, esto al parecer es debido a un aumento en la solubilidad de los iones Ca^2 y a que la reacción es endodérmica es decir que requiere calor para que se efectúe. (Cantu, 2001)

Concentración entre los componentes y el medio acuoso

Una concentración baja de los componentes sobre el medio acuoso favorece a la reacción debido a una solubilidad alta de los componentes sobre el medio acuoso, pero esto afecta a las resistencias de los productos de hidratación debido a que se forma una alta porosidad, por lo tanto, para este factor se debe de encontrar el punto óptimo entre favorecer la reacción sin que se produzca una alta porosidad, que afecten las resistencias de los productos de reacción. (Cantu, 2001)

1.5.2 Efectos de la reacción puzolánica en las propiedades del hormigón

La adición de puzolanas confiere al hormigón elaborado con cemento Portland, propiedades de gran importancia práctica, como son: estabilidad química, impermeabilidad, resistencia mecánica, bajo calor de hidratación, durabilidad, entre otras.

Estabilidad química

Durante la actividad puzolánica se consume el hidróxido de calcio (cal) considerado un grave problema en el hormigón, ya que puede ser lixiviado por el agua y reaccionar con determinados agentes químicos (sulfatos y cloruros), lo que

provoca expansiones que debilitan la estructura y la estabilidad química del hormigón. (Taylor, 1990, Alujas, 2010)

Impermeabilidad

Los productos de hidratación de las puzolanas naturales contribuyen principalmente a reducir la interconectividad en la estructura de poros, dificultando el transporte al interior de la microestructura del hormigón. (Castro, 2010)**.** Los procesos de refinamiento del tamaño del poro y del tamaño de grano fortalecen la zona de transición, reduciéndose la microfisuración y aumentando la impermeabilidad del hormigón.(Peña, 2018)

Resistencia mecánica

La actividad puzolánica es una reacción lenta, al contrario que la reacción de hidratación del cemento, que es rápida, por tanto, desarrollo de resistencias será proceso más lento. (Peña, 2018). Su magnitud puede llegar a ser igual o superior que los patrones, apreciándose un mayor efecto en este sentido en las mezclas pobres La evolución de la resistencia de la manera descrita se comprende al hecho de que una determinada sustitución, a los efectos prácticos significa una reducción en el contenido real de cemento y que para que ocurra la reacción puzolánica debe formarse primeramente una cierta cantidad de cal de hidrólisis.(Betancourt, 2014)

Calor de hidratación

La utilización de las puzolanas en el cemento Portland, en términos generales, presenta un efecto en la disminución del calor de hidratación debido a que tiene un menor porcentaje de los compuestos responsables de la elevación de la temperatura durante el fraguado del cemento, (Tabón, 2006)

El calor desarrollado en la hidratación de un cemento puzolánico disminuirá, con el tiempo, en una cantidad prácticamente proporcional a la puzolana añadida. (Soria, 1983)

Durabilidad

El hormigón con adiciones puzolánica, al poseer mayor estabilidad química e impermeabilidad, tiene mayor resistencia al intemperismo y sustancias agresivas, presentando una excelente resistencia al ataque químico frente a aguas

ácidas,(Peña, 2018). Es resistente a los sulfatos pues la incorporación de puzolanas disminuye la proporción de aluminato tricálcico (C_3A) en el cemento, lo cual resulta muy favorable pues es este compuesto el principal responsable de la susceptibilidad del cemento Portland a los sulfatos. (Betancourt, 2014) Pose un comportamiento más estable a la reacción con los álcalis del cemento, convirtiéndolo en un inhibidor de la reacción álcali-agregado, siendo así más durable.(Tabón, 2006)

Retracción

El uso de adiciones puzolánicas hace que los hormigones tiendan a una baja velocidad de exudación, aumentándose relativamente la tendencia a la fisuración por retracción plástica, (Oss and Padovani, 2002) por eso exigen mayor control y curado especial y continuado para prevenir los peligros de fisuración y otros fenómenos. (Apuntes, 2011)

La contracción por secado del hormigón depende fundamentalmente, del contenido de agua de la mezcla. El uso de las adiciones requiere una mayor demanda de agua que los hormigones producidos con cemento portland ordinario, por lo tanto tienden a sufrir una mayor contracción por lo cual se recomienda, el uso de aditivos plastificantes para aquellos elementos estructurales susceptibles a este tipo de fisuras (Joisel, 1981).

La reducción de la retracción química y autógena también son aportes de la incorporación de puzolana en el hormigón. (Cabrera, 2010)

Otros efectos

Además del efecto en las propiedades mencionadas, la adición de material puzolánico proporciona a los hormigones mejor trabajabilidad, facilidad de transporte, puesta en obra y compactación,(Calleja, 1991) disminuye la exudación de las mezclas, la tendencia a la segregación. (Apuntes, 2011)

1.6 Retracción en el hormigón

Durante su vida útil, el hormigón no se escapa a la contracción, sin embargo, la contracción por sí sola no es el problema; el problema comienza cuando el hormigón está unido a objetos fijos tales como muros, columnas, losas adyacentes

o el suelo natural. Cuando esto sucede se desarrollan esfuerzos de tracción en el hormigón: si estos esfuerzos son superiores a su resistencia a la tracción, se presentan grietas o fisuras. (Lodoño, 2012)

La retracción es un fenómeno intrínseco del hormigón, que está relacionado con la pérdida paulatina del agua en la mezcla. El fenómeno en cuestión, se refiere a que el hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante su vida útil por causas físico químicas. La idea más importante que debe retenerse es que la retracción no es una fuerza impuesta, sino que es una deformación impuesta al hormigón que provocara tensiones de tracción. (Munizaga, 2009)

Al igual que durante el proceso de fraguado, el hormigón pierde agua en su etapa de endurecimiento y esto produce cambios de volumen que originan superficies agrietadas que no parecen ser más que un problema estético. Sin embargo, pueden causar daño al concreto y armadura de la estructura, debido a que facilitan la comunicación de los poros internos del hormigón con el exterior y permiten que los agentes químicos se depositen en ellas y penetren para corroerlo. (Concreto, 2006)

1.6.1 Tipos de retracción

Retracción química

Es el cambio de volumen de sólidos y líquidos asociados a las reacciones de hidratación del hormigón específicamente producida por la hidratación del cemento y por las fuerzas de cohesión y adhesión resultantes. La expansión que produce el calor generado por las reacciones de hidratación del cemento provocan tensiones en las zonas a temperaturas más frías del mismo elemento, por estar en contacto con el ambiente, o con volúmenes de hormigón puestos en obra con anterioridad que van impidiendo su libre movimiento de retracción inicial. (Sant, 2009, Gómez, 2015)

Para la medición de la retracción química existen diversos ensayos, todos basados en la absorción del agua durante el proceso de hidratación.

1. Contracción de Le Chatelier, este ensayo mide el decrecimiento del volumen de la pasta de cemento. (Thoma, 2001)
2. Método de análisis de imagen (EPFL), se miden los cambios de volumen a la pasta de cemento a través de la lectura del nivel del aceite, este proceso que registrado por una cámara digital. Se realiza con agua des ionizada. (Thoma, 2001)
3. Método de Buoyancy, por este ensayo se obtiene el valor del volumen final basado en los cambios de densidad.(Thoma, 2001)

Retracción plástica

La pasta de cemento que es plástica experimenta una reducción en su volumen, en el orden de 1% del volumen del cemento seco, que se conoce como retracción plástica, porque se presenta mientras el hormigón está todavía en estado plástico. (Munizaga, 2009)

La rápida evaporación de la humedad superficial supera a la velocidad ascendente del agua de exudación, causando que la superficie del hormigón se contraiga más que el interior. Mientras el hormigón interior restringe la contracción del hormigón superficial, se desarrollan tensiones de tracción que exceden la resistencia del hormigón y consecuentemente se desarrollan fisuras en la superficie. (Becker, 2014)

Las fisuras de retracción plástica son fisuras relativamente cortas, poco profundas y erráticas (aunque a veces se muestran paralelas) que pueden aparecer durante los trabajos de terminación en días ventosos, con baja humedad y alta temperatura del aire. Las fisuras de retracción plástica varían desde unos pocos centímetros de largo hasta 1,50 ó 2,00 m y suelen tener una profundidad de 2 a 3 cm, aunque pueden penetran hasta la mitad o más del espesor de la losa cuando las condiciones ambientales son muy adversas y las prácticas de protección y curado resultan deficientes. (Becker, 2014)

Existen varias técnicas para medir este tipo de retracción, entre ellos están:

1. Método de prueba del anillo: El dispositivo de prueba consiste en dos anillos de acero, y una base metálica. La prueba consiste en moldear una muestra de hormigón entre los dos anillos metálicos para formar un anillo de

concreto de 15 cm de espesor y 8 cm de altura. Todo el conjunto se somete a un flujo de aire constante (4 m/s) en un ambiente controlado de humedad 40% de Humedad relativa y temperatura 20° C. (Imcyc, 2011)

2. Método de prueba del panel rectangular ASTM C157-9: 2006“Método estándar para el cálculo de la retracción plástica”. Este método evalúa la contracción plástica sometiendo los paneles rectangulares de hormigón a velocidades de viento de 4m/s en una cámara de condiciones constantes de humedad (30%) y temperatura (36°C).

Retracción autógena

Es aquella provocada por la propia naturaleza de la hidratación del cemento. Los volúmenes de los componentes iniciales (agua y cemento) son mayores que el volumen final del hidrato resultante. (Hermina, 2005)

Aun después del fraguado ocurren cambios de volumen en forma de retracción o dilatación. Una continua hidratación puede llevar a una expansión, sin embargo, cuando no se permite el movimiento de humedad, ya sea hacia adentro o fuera del hormigón, se produce una retracción autógena. Esta es relativamente pequeña y en la práctica (excepto en grandes estructuras de hormigón masivo) no es necesario tomarla en cuenta como factor separado de la retracción por secado que normalmente incluye aquella retracción causada por cambios autógenos. Es más importante cuando la razón agua-cemento es baja (menor a 0,40). (Munizaga, 2009)

Los ensayos para la obtención de la retracción autógena se dividen en dos grupos: métodos lineales y métodos volumétricos. Dentro de los lineales se encuentran el método del tubo corrugado y el láser, por otra parte, el método de la membrana es el más empleado de los volumétricos.

1. Método del tubo corrugado: Mide la deformación longitudinal de la muestra ya que el molde tiene una rigidez mayor en la dirección radial que en la dirección longitudinal.
2. Método del láser: Este método se basa en registrar el cambio longitudinal que experimenta la muestra con el uso de rayos laser

3. Canal de retracción. El canal de retracción es un perfil de acero inoxidable en forma de U y de 1.00m de longitud. Posee un ancla fija en cada uno de sus extremos y un ancla móvil que se desplaza sobre tres ruedas. Dicho movimiento es registrado y mediante un datalogger con el sistema de referencia, registra la información del canal de retracción.

Retracción por carbonatación

En el hormigón endurecido se produce la contracción por carbonatación. Cabe puntualizar que, por carbonatación se entiende a la reacción del CO_2, proveniente del medio ambiente, con el cemento hidratado. El gas CO_2 está presente en la atmosfera (aproximadamente 0,03% en el aire rural, 0,1%en laboratorios no ventilados y 0,3% en ciudades) y en proporciones suficientes para causar una reacción considerable con la pasta de cemento, a largo plazo. En parecencia de humedad, el CO_2 forma ácido carbónico que reacciona con el $Ca(OH)_2$ para formar $CaCO_3$; además, otros compuestos del cemento también se descomponen y forman sílice hidratada. El hormigón expuesto a la carbonatación pierde agua y se comporta como se hubiese sido secado a una humedad relativa inferior de aquella a la que fue sometido realmente. Además, la contracción por carbonatación es totalmente irreversible. (Carrasco, 2014)

Retracción por secado

La retracción que el hormigón sufre debida al secado consiste básicamente en una deformación volumétrica de contracción, como consecuencia del movimiento de humedad dentro del material cuando existe un gradiente de humedad relativa entre el medio ambiente y la estructura. (Idiart.A, 2010)

Si una pieza fraguada de hormigón o concreto la conservamos en un ambiente saturado a temperatura constante y medimos sus dimensiones durante el proceso de post-fraguado, a menos que cuente con alguna característica expansiva, mantendrá prácticamente sus dimensiones originales. Pero normalmente no contamos con tal grado de humedad y mucho menos con una temperatura constante. Así, lo normal es que el hormigón expuesto al ambiente exterior sufra una retracción, es decir, disminuya su volumen. (Sanjuan, 2014)

Como que la desecación en el hormigón es mayor en las partes exteriores que en las interiores, en los elementos masivos se generan tensiones internas de tracción a causa de la retracción desigual, lo cual conduce a la formación de fisuras en la masa del hormigón, particularmente en la interfase árido-pasta. (Betancourt, 2015)

En resumen, la deformación de retracción por secado está principalmente relacionada con la remoción de agua absorbida de la pasta de cemento hidratada. La humedad relativa diferencial entre el hormigón y la del medio ambiente es la fuerza conductora de este fenómeno. (Munizaga, 2009, Gómez, 2015)

La fisuración superficial irregular en muros y losas constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala. Estas fisuras aparecen en el mortero en las primeras semanas e incluso meses, suelen tener de 4 a 8 mm de espesor y son de profundidad y longitud variable siendo incrementables con el tiempo. Su dirección es perpendicular a la superficie expuesta al secado y el sentido es ascendente. (Gómez, 2012, Limonte, 2016)

Para medir la retracción por secado se utiliza el procedimiento descrito en la norma (ASTM-C-157, 2006) Método estándar para el cálculo de cambios de longitud en morteros y hormigones, que mide los cambios de longitud que experimenta la muestra entre dos puntos fijos.

1.7 Factores que intervienen en la retracción por secado

Para el estudio de la retracción por secado se debe tener en cuenta, diferentes factores que intervienen en dicho proceso y entender como su variación afecta al hormigón en cada momento, entre los factores más influyentes se encuentran: contenido de cemento, relación agua/cemento, tipo y contenido de áridos, proceso de curado, geometría del elemento, y humedad relativa.

1.7.1 Contenido de Cemento

Un alto contenido de cemento puede afectar la retracción, traducido en un incremento del calor de hidratación y la consiguiente evaporación del agua en la superficie del hormigón contribuyendo a la aparición de grietas en la interface árido-pasta, además un aumento en el contenido de cemento da lugar a la

necesidad de emplear más agua con lo cual aparecen problemas de fisuración y pérdida de resistencia. (Sant, 2009, Sanchez, 2015)

La retracción será mayor cuanto mayor sea la superficie específica del cemento utilizado, debida a que mayor será el grado de hidratación de este material, por lo que se consumirá un mayor porcentaje de agua. Esto implica que existe una mayor cantidad de volumen de gel de cemento, el cual, cuando la humedad relativa es lo suficientemente baja, hace que se experimenten altos niveles de retracción. (García, 2011, Gómez, 2015)

1.7.2 Relación agua cemento

Mayor relación a/c se traduce en mayor contenido de agua, su aumento tiende a incrementar la contracción y al mismo tiempo a reducir la resistencia del hormigón. La cantidad de agua de amasado influye mucho en la retracción debido, fundamentalmente, a que reduce el volumen de áridos a introducir en el hormigón, y que son los que verdaderamente frenan la retracción; en este sentido, conociendo el contenido de agua de una mezcla determinada puede tenerse una idea del orden de magnitud de la retracción que se puede esperar de la misma. (Bauersfeld, 2004, Gómez, 2015)

1.7.3 Tipo y contenido de áridos

Los ardidos son responsables de la estabilidad volumétrica del hormigón, restringen la libre retracción de la pasta y, puesto que el árido de por si no manifiesta cambios apreciables de volumen, a mayor porcentaje de este en el hormigón se desarrolla una menor retracción del conjunto. Por otro lado, ardidos con mayor módulo de elasticidad o, incluso, de mayor rugosidad, restringen en mayor medida la retracción. (García, 2011)

Mientras mayor es el tamaño del agregado, menor es la contracción por secado, ya que estos ocupan más espacio, y tienen menor retracción que el agregado fino, por lo que esta tiende a reducirse. Además, mientras más rígido y menos elástico sea el agregado, mucho menor será la retracción. En otras palabras, mientras más grande y compacto sea el agregado, menor retracción habrá. (Limonte, 2016)

1.7.4 Proceso de curado

La duración y el tipo de curado pueden afectar la tasa y la cantidad final de la contracción por secado. Los compuestos de curado, selladores y revestimientos pueden retener la humedad libre en el hormigón por largos períodos de tiempo, retrasando la contracción por secado. Los métodos de curado húmedo, tales como la niebla, el rociado o el yute húmedo, retardan la contracción hasta que el curado se haya acabado, después de los cuales, el hormigón se seca y se contrae a una tasa normal. (Marino, 2009)

El curado debería comenzar inmediatamente después del desencofre y es particularmente importante durante el primer día después de la colocación, ya que es el procedimiento mediante el cual se evita que parte del agua de amasado del hormigón se pierda por distintas vías. Su correcta ejecución garantiza que se produzca de manera conveniente el proceso de fraguado y endurecimiento. (Holt, 2001, Gómez, 2015)

1.7.5 Geometría del elemento

Los elementos de grandes dimensiones y espesores se secan más lento que los delgados y pequeños, como consecuencia su encogimiento será mayor para un mismo período de secado. A una humedad relativa de almacenamiento constante, tanto el tamaño como la forma de un elemento de hormigón determinan la magnitud de la retracción por secado. Se deduce que un espesor teórico superior será asociado con un encogimiento por secado inferior. (Munizaga, 2009, Gómez, 2015)

El efecto del tamaño se puede tomar en cuenta indirectamente por la relación de la superficie de secado al volumen de hormigón que implica. Los elementos en forma de placa, aunque poseen un secado más uniforme tienen una superficie de secado de mayor magnitud lo que influye directamente en la evaporación del agua presente en el gel derivando en la retracción de la superficie y aparición de fisuras. (Sant, 2009, Gómez, 2015)

1.7.6 Humedad relativa

La humedad relativa es un factor importante, estrictamente hablando, no es la humedad en sí lo que importa, sino el proceso de secado mientras el hormigón está en proceso de retracción. Por tanto, la humedad relativa carece de importancia si el hormigón ya alcanzó su equilibrio hidráulico ya que en ese momento la retracción es muy pequeña. La explicación del fenómeno no se hace simplemente en función de una pérdida adicional de agua del hormigón; el mecanismo por el cual la humedad relativa afecta la retracción es relativamente complejo, siendo uno de los factores claves el hecho de que el equilibrio de la presión del vapor del agua absorbida dependa de su estado de esfuerzo.(Betancourt, 2013)

1.8 Medidas para disminuir la retracción por secado

1.8.1 Construcción de juntas

La contracción del hormigón se acomoda con mayor éxito en la construcción por medio de juntas que permiten el movimiento limitado del concreto. Estas se pueden hacer completamente abiertas o en forma de ranura, las cuales producirán un plano de debilidad y una probabilidad razonable de que la grieta prevista coincidirá con la ranura. (Philleo, 1890)

1.8.2 Reducción del contenido de agua

La reducción del contenido de agua, lo cual proporciona una menor cantidad de agua libre y en consecuencia una reducción notable en las deformaciones de retracción por secado; no obstante, esto daría lugar a una disminución de la trabajabilidad, de manera que para evitarlo se pueden emplear plastificantes o superplastificantes. (Gómez, 2015)

1.8.3 Reducción del contenido de cemento

Una disminución del contenido de cemento mediante la optimización de las granulometrías de los áridos y composición de la pasta, o bien su sustitución por finos que den mayor compacidad a la pasta e impermeabilidad al hormigón es una vía para reducir la retracción en los hormigones. Debido a que las presiones en los poros creados dentro de la pasta de hormigón son directamente proporcionales a

las tensiones en su superficie, parece lógico que los agentes reductores de la retracción, los cuales disminuyen esa tensión superficial, podrían también ser usados con el fin de mitigar la retracción. (Gómez, 2015)

1.8.4 Mejorar las propiedades de los áridos

Mejora de los áridos, en especial la granulometría de las mezclas para lograr una mejor compacidad, mediante las siguientes alternativas.

- Lavado de arena (0-5mm) para eliminar arcilla adherida a los áridos.
- Complemento de finos (fracción de 0-5 mm) a partir de incluir en la mezcla de áridos el polvo fino.
- Utilizar dosificaciones con dos áridos gruesos, en este caso gravilla y granito, para poder mejorar la granulometría en las fracciones gruesas (fracciones entre 5-19 mm). (Limonte, 2016)

1.8.5 Utilización de aditivos controladores de retracción

Estas sustancias están diseñadas para actuar sobre el material disminuyendo la tendencia del hormigón a retraerse durante su hidratación.(Sika, 2012) . Estos basan su acción en la reducción de la tensión superficial del agua de la mezcla, lo que favorece su utilización para la hidratación por parte de los materiales cementicios presentes en la mezcla, ayudando a reducir la disminución de la humedad relativa interior. Debido a su efecto plastificante, está aceptado que se puede reducir el agua de la mezcla en la misma cantidad en la que se incorpore aditivo.(López, 2003)

Algunos de los aditivos SRA más utilizados en la construcción son, MasterLife®, SRA 20, Sika®Control-40, Mapecure SRA 25, Eclipse™, BISEAL SRA, MasterRheobuild® 1501, Dynamon SX 18 y RHEOMIX® 774 CL, entre otros.

1.8.6 Adición de fino (puzolana)

La adición de puzolanas mejora de la estructura de poros de la matriz a través de la actividad puzolánica marginal que se logra al utilizar adiciones de puzolanas como complemento de finos, combinado con la reducción de cantidad de cemento total utilizado (Limonte, 2016). La puzolana es capaz de sustituir parcialmente al

cemento portland hasta un 30% y garantiza los bajos valores de calor de hidratación, Esta condición puede evitar de forma eficiente la retracción térmico-plástica, la expansión y la fisuración de los hormigones.(Costafreda, 2011)

1.9 Conclusiones parciales del capítulo

- Las puzolanas pueden usarse de dos formas fundamentales, en las llamadas mezclas cal-puzolana o como adiciones al cemento Portland o al clínker de cemento Portland.
- Las arcillas naturales por su composición no pueden ser utilizadas como adiciones puzolánicas, por lo que pasan a través de un proceso de activación térmica, que es el más efectivo para lograr alcanzar los componentes necesarios en su estructura.
- La retracción es un fenómeno intrínseco en el hormigón, pero el uso de adiciones puzolánicas hace que los hormigones tengan baja velocidad de exudación, lo que aumenta la tendencia a la fisuración por retracción plástica, pero disminuyen a su vez la retracción química y autógena.

Capítulo II: Uso de la puzolana artificial (LC^2) en la producción de hormigones fluidos de 35 MPa

2.1 Introducción

En este capítulo se exponen, las propiedades de los materiales a utilizar en la investigación, así como el diseño experimental para la evaluación de la retracción por secado en los hormigones a nivel de laboratorio.

Se decide evaluar la consistencia, resistencia a compresión y retracción mediante métodos experimentales, se realiza para ello, hormigón elaborado con cemento P 35 como mezcla patrón y hormigones elaborados con un 30% y un 15% de la adición puzolánica LC^2.

2.2 Diseño del plan experimental

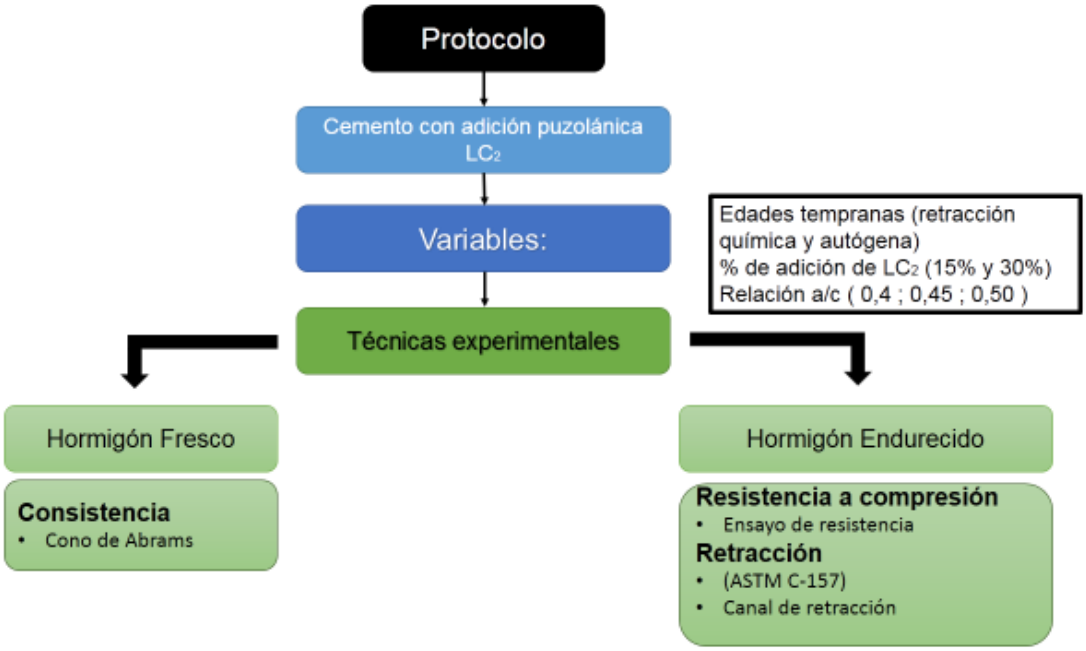


Figura 3 Diseño del plan experimental

Variables independientes

Se declaran como variables independientes del estudio, el tipo de cemento que es el P35 y el P35 más el 15 y 30% de adición puzolánica LC^2, la relación agua-cemento que se varía en 0,40, 0,45 y 0,50.

Variables dependientes

- Consistencia: que se alcanza en la investigación más de 160mm que clasifica como hormigón fluido.
- Retracción: Valores próximos a los de la muestra patrón.
- Resistencia a compresión: a los 28 días más de 35MPa.

Parámetros de estado

Los parámetros de estado son aquellas variables que se desean mantener constantes atendiendo a los fines prácticos de la investigación:

- Contenido de aglomerante: 420kg para 1m^3.
- Árido fino (Arena): Procedente de Mariano Pérez y 927 kg para 1m^3.
- Condiciones ambientales: Temperatura controlada de 22°C±2°C.

Procedimiento experimental

Primera etapa: Fabricación de muestras. Ensayo en estado fresco.

Se definen las dosificaciones a utilizar en la elaboración de hormigones para la toma de muestras de cada mezcla. Se comprueba el asentamiento mínimo requerido por el ensayo del cono de Abrams de 16 cm y luego se procede a la colocación en los moldes de probetas cilíndricas de 100mm x 20mm para resistencia, en los moldes de probetas prismáticas de 75mm x 75mm x 285mm para ASTM C-157 y en el canal de retracción.

Segunda etapa: Ensayo en estado endurecido.

Las muestras en probetas cilíndricas, una vez endurecidas se procede al ensayo de resistencia a compresión en lotes de tres a los 7 y 28 días después que comience el curado y ensayo de ASTM 157C para medir retracción en las probetas prismáticas durante 28 días. Mientras que la muestra en el canal de retracción se realiza mediciones durante 7 días después de que se coloca dicho molde, se utiliza para ello equipo computarizado.

Tercera etapa: Análisis estadístico.

Se realiza un análisis estadístico y valoración de los resultados obtenidos en la investigación, destacando los aspectos más significativos.

2.2 Propiedades de los materiales

2.2.1 Los agregados (áridos)

Todos los áridos que se utilizan en la elaboración de los hormigones son procedentes de la cantera Mariano Pérez “El Purio”, del municipio Encrucijada, provincia Villa Clara. Son producto de la trituración de rocas calizas, con un tamaño de grano entre 19.0 - 9.50mm para el árido grueso (gravilla), entre 9.52-4.76mm para el granito y 4.76 - 0.147mm para el árido fino (arena). Por su Litología es una roca caliza pura organógena, dura, compacta, blanca a crema, masiva o levemente brechosa.

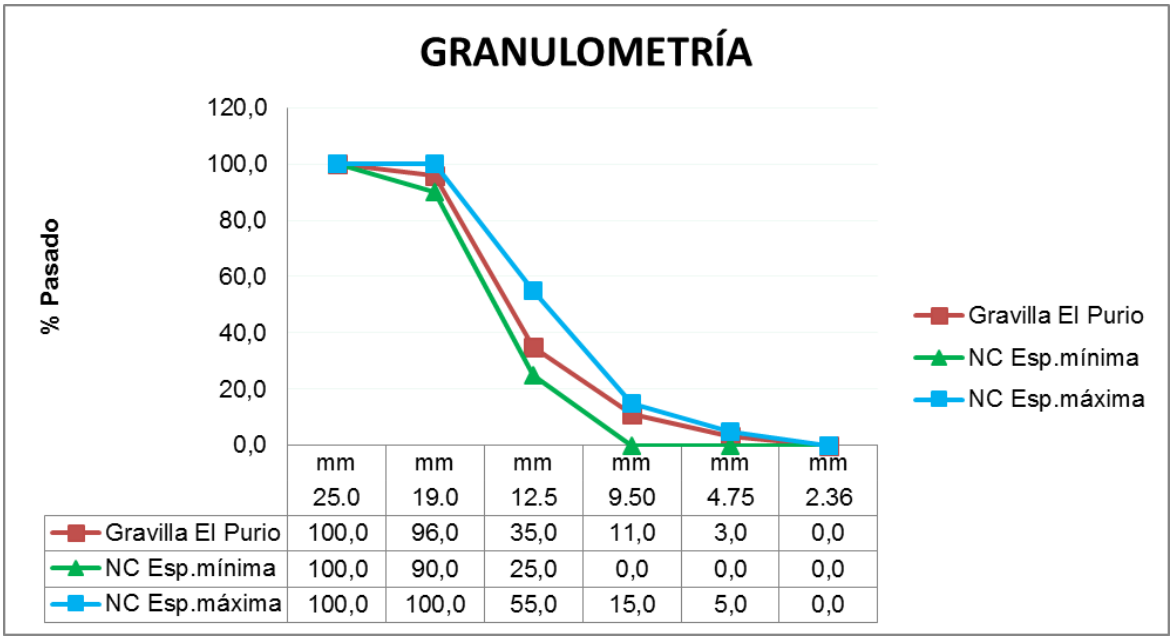
El árido grueso (gravilla)

El árido grueso es una gravilla que procede de la trituración de rocas calizas de la Cantera “Mariano Pérez” del municipio Encrucijada, Provincia Villa Clara. Correspondiente a una piedra fracción (10-5mm).

Tabla 2.1 Propiedades del árido grueso. Fuente: Informe de Ensayo Áridos 23/03/18

Ensayos	Resultado	Según NC251:2013
Material más Fino que 0.074 mm (%)	0.51	≤ 1.0
Partículas Planas y Alargadas (%)		≤ 10
Pesos Específicos Corriente	2.50	≥ 2.50
Pesos Específicos Saturado	2.55	
Pesos Específicos Aparente	2.60	
Absorción (%)	2.17	≤ 3.0
Masa Volumétrica Suelta (kg/m^3)	14.206.580	
Masa Volumétrica Compactada (kg/m^3)	15.678.667	
Porciento de Huecos (%)	32.70	

Análisis granulométrico



	mm 25.0	mm 19.0	mm 12.5	mm 9.50	mm 4.75	mm 2.36
Gravilla El Purio	100,0	96,0	35,0	11,0	3,0	0,0
NC Esp.mínima	100,0	90,0	25,0	0,0	0,0	0,0
NC Esp.máxima	100,0	100,0	55,0	15,0	5,0	0,0

Gráfico 2.1 Granulometría del árido grueso (gravilla)

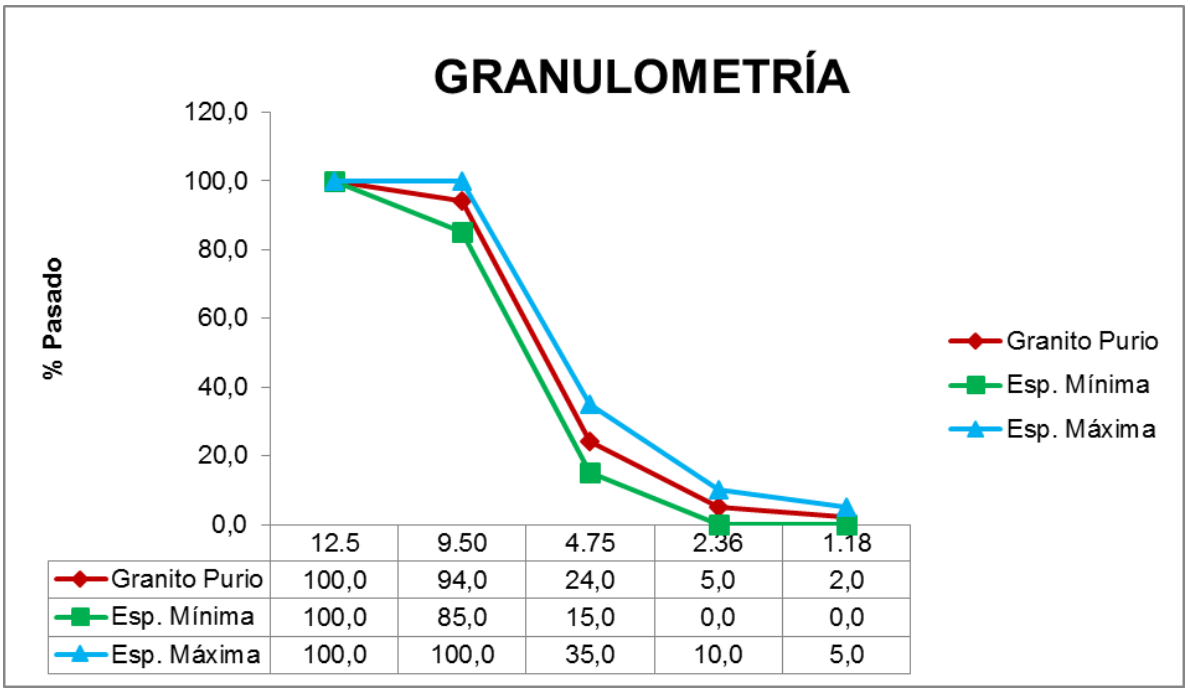
El árido medio (Granito)

El árido medio es un granito con una fracción de piedra menor que la gravilla. También procede de la trituración de rocas calizas de la Cantera “Mariano Pérez” del municipio Encrucijada, Provincia Villa Clara. Correspondiente a una piedra fracción (10-5mm).

Tabla 2.2 Propiedades del granito. Fuente: Informe de Ensayo. Áridos 23/03/18

Ensayos	Resultado	Según NC251:2013
Material más Fino que 0.074 mm (%)	0.84	≤ 1.0
Pesos Específicos Corriente	2.40	≥ 2.50
Pesos Específicos Saturado	2.47	
Pesos Específicos Aparente	2.6	
Absorción (%)	2.76	≤ 3.0
Masa Volumétrica Suelta (kg/m^3)	13.883.186	
Masa Volumétrica Compactada (kg/m^3)	14.970.345	
Porciento de Huecos (%)	37.50	

Análisis granulométrico



	12.5	9.50	4.75	2.36	1.18
Granito Purio	100,0	94,0	24,0	5,0	2,0
Esp. Mínima	100,0	85,0	15,0	0,0	0,0
Esp. Máxima	100,0	100,0	35,0	10,0	5,0

Gráfico 2.2 Granulometría del árido medio (granito)

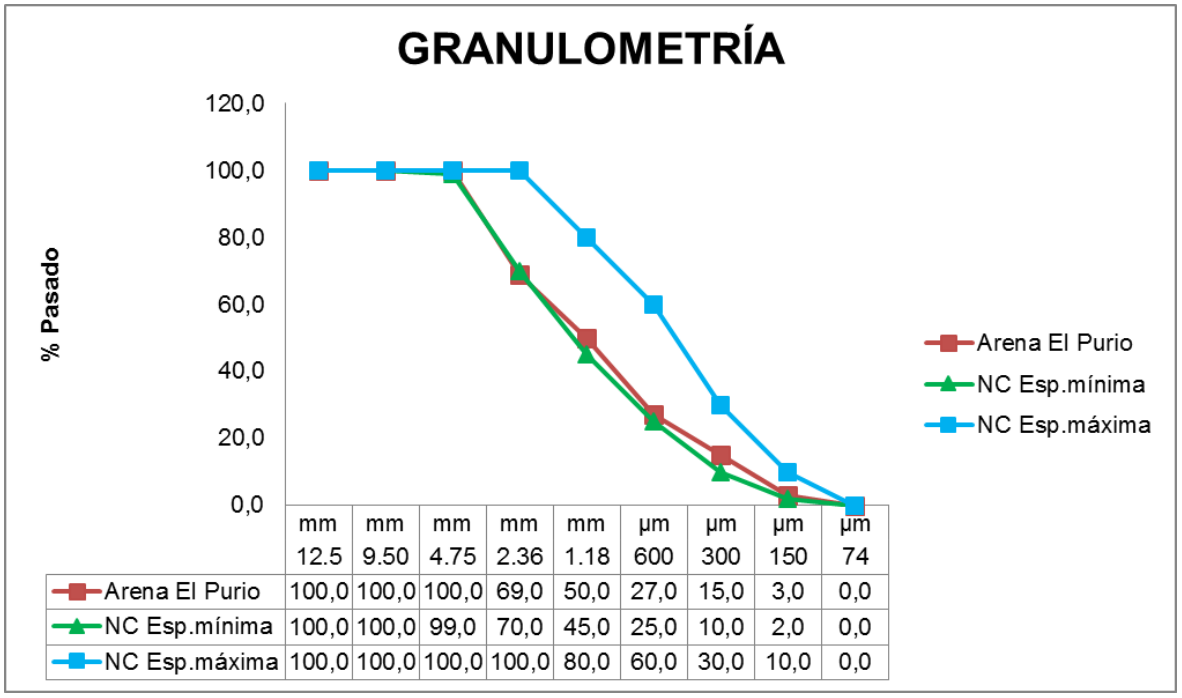
El árido fino (Arena).

Los áridos finos provienen de la cantera Mariano Pérez “El Purio”, fracción (5-0), ubicada en la provincia Villa Clara.

Tabla 2.3 Propiedades del árido fino (arena). Fuente: Informe de Ensayo. Áridos 23/03/18

Ensayos	Resultado	Según NC251:2013
Material más Fino que 0.074 mm (%)	2.3	≤ 5.0
Pesos Específicos Corriente	2.56	≤ 2.50
Pesos Específicos Saturado	2.61	
Pesos Específicos Aparente	2.7	
Absorción (%)	2.27	≤ 3.0
Masa Volumétrica Suelta (kg/m^3)	14.955.321	
Masa Volumétrica Compactada (kg/m^3)	16.267.255	
Porciento de Huecos (%)	36.33	
Módulo de Finura	3.37	2.20 – 3.58

Análisis granulométrico



	mm 12.5	mm 9.50	mm 4.75	mm 2.36	mm 1.18	µm 600	µm 300	µm 150	µm 74
Arena El Purio	100,0	100,0	100,0	69,0	50,0	27,0	15,0	3,0	0,0
NC Esp.mínima	100,0	100,0	99,0	70,0	45,0	25,0	10,0	2,0	0,0
NC Esp.máxima	100,0	100,0	100,0	100,0	80,0	60,0	30,0	10,0	0,0

Gráfico 2.3 Granulometría del árido fino (arena)

Como se muestra todos los áridos cumplen con la NC 251: 2013 Áridos para Hormigones Hidráulicos – Requisitos. Aunque hay que destacar que la arena está en el límite de los valores mínimos especificados por la norma. Se muestra como en los tamices del 1.18 al Tamiz 300 los valores disminuyen en el por ciento de pasado, por lo que se infiere que la muestra de arena tiene poco fino y puede influir en los resultados posteriores en la resistencia del hormigón.

2.2.2 Cemento Portland

El cemento que se utiliza es: el Cemento Portland P 35 que se produce en la fábrica de cemento Karl Marx de la provincia de Cienfuegos.

Tabla 2.4 Ensayos Químicos del Cemento P 35. Fuente: (CIDEM, 2018) Reporte final

Parámetros	P 35	Ensayo
SiO_2	22,37	XRF
Al_2O_3	5,19	XRF
Fe_2O_3	3,13	XRF
CaO	62,11	XRF
MgO	1,52	XRF
SO_3	2,96	XRF
CaO_L	0,75	NC 505: 2007
RI	3,04	NC 507:2007
PF	2,18	NC 507:2007
Álcalis equiv.	0,65	UNE –EN 196-2:2006
Residuo Disolución	-	Metodología CTDMC (6)
% adición de toba	5	Dosificación por báscula

Tabla 2.5 Ensayos Físicos del Cemento P 35. Fuente: (CIDEM, 2018) Reporte final

Tipo De Cemento	Pe NC 23:2007	Blaine NC EN 196- 6:2007	CN NC 524:2007	Estabilidad Volúmen NC 524:2007	Retenido 90 micras NC EN 196-6:2007	Tiempo Fraguado NC 524:2007	
						Inicial min	Final horas
P 35	3,08	3166	24,6	0,39	6,00	102	3,17

Nota: El aglomerante cumplen con lo que establecen las normas de especificaciones NC 95:2011 y NC 96:2011.

2.2.3 Adición puzolánica LC^2

Los materiales componentes de adición puzolánica LC^2 son las siguientes:

- Arcilla extraída del yacimiento Yaguajay, en la provincia de Sancti Spíritus.
- Caliza procedente de Nieve Morejón, en Guayos, Sancti Spíritus.
- Yeso proviene de Punta Alegre, en la provincia de Ciego de Ávila.

La adición puzolánica LC^2 que se utiliza como material puzolánico, está compuesta por la mezcla de arcilla calcinada y caliza en proporción 2:1, y 7% del total es yeso como se muestra en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Composición de la adición puzolánica LC[2]

Materiales	Cantidad (kg)	%
Arcilla	19.8	62
Caliza	9.6	31
Yeso	0.6	7

La arcilla se coloca primeramente en la estufa del laboratorio de la Facultad de Construcciones durante 24 horas y posteriormente se calcina a 800ºC en el laboratorio de Espectroscopia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Finalmente se mezcla con el resto de las materias primas y se muele por 3 horas en un molino de bolas MB 800 con el objetivo de lograr la finura requerida para los tamices de 90 y 45 µm. La finura de molido que se obtiene se muestra en la tabla 2.7

Tabla 2.7 Finura de molido de la adición mineral LC[2]

	Tamiz de 45 µm	Tamiz de 90 µm
Cantidad a ensayar	25g	25g
Retenido acumulado	88.8%	37.6%
% que pasa	11.2%	62.4%

Como se observa en la figura 2.7 el material que se obtiene no cumple con la finura mínima establecida por la norma (NC:528, 2013). Esto se debe a problemas técnicos en el proceso de molienda de la arcilla.

2.2.4 Agua

El agua que se utiliza es potable, se evalúa como adecuada para la producción de hormigón, morteros y pastas y cumple con la (NC:353, 2004) Aguas para el amasado y curado del hormigón y los morteros.

2.2.5 Aditivo SikaPlast

Aditivo reductor de agua de rango medio de alta eficiencia y con permanencia de trabajabilidad. Libre de cloruros.

Se utiliza principalmente en la elaboración de hormigones para todo tipo de estructuras, especialmente en aquellos que se requiere optimizar el contenido de

cemento por metro cúbico y requieren de trabajabilidad extendida. Aporta excelente reducción de agua sin impactar las características del hormigón fresco. Se utiliza en hormigones que requiere un corto fraguado. Aumenta las resistencias mecánicas. Permite acabados superficiales de alta calidad, se agrega en el agua de mezcla durante la preparación del hormigón.(Sika, 2013)

Datos técnicos tomados de la hoja técnica del producto son:

Tipo: Aditivo líquido

Color: Café oscuro

Densidad: 1.13 kg/L

2.3 Dosificaciones empleadas en el experimento

La dosificación por m^3 de hormigón empleada para la investigación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.8 Dosificación para $1m^3$ de hormigón

Material	Dosificación 1	Dosificación 2
Cemento (kg/m3)	420	420
Arena (kg/m3)	927	927
Granito (kg/m3)	0	259
Gravilla (kg/m3)	891	259
Agua (l/m3)	165	165
Aditivo Sika Plast (l/m3)	2,8	2,8

2.4 Proceso de fabricación de muestras

La fabricación de las muestras se lleva a cabo en el Laboratorio de Hormigón de la Facultad de Construcciones de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Se tiene en cuenta las condiciones ambientales y el horario en el que se elaboran los hormigones en estudio.

2.4.1 Preparación de los moldes

Para el ensayo de retracción por secado se utilizan probetas prismáticas de dimensiones 75mm x 75mm x 285 mm, según la norma (ASTM C-157:2006) Método estándar para el cálculo de cambios de longitud en morteros y concretos. Para ello se usan moldes de madera con las dimensiones antes detalladas, estos

poseen aberturas para la colocación de los insertos metálicos, los cuales servirán de punto de referencia para la medición.

En el ensayo de resistencia mecánica a compresión se utilizan probetas cilíndricas de 100mm x 200mm, que se realizan en moldes metálicos, según lo establecido en la (NC.ISO1920-3, 2010) Hormigón. Elaboración y curado de probetas para ensayos.

Para el ensayo del canal de retracción se utiliza un molde metálico dimensiones de 60mm x 100mm x 1000mm. Para evitar la fricción entre el hormigón con las paredes del canal, este se cubre con una capa de neopreno a la que se le aplica una fina capa de aceite desencofrante para evitar la adherencia del hormigón en el canal.

2.4.2 Revestimiento de los moldes con líquido desencofrante

Todos los moldes que se utilizan en la elaboración de probetas y fabricación de elementos están colocados en un área firme y nivelada. Toda la superficie interna de cada molde se cubre con un líquido desencofrante, antes de ser llenados, para evitar que el hormigón se adhiera al molde y lograr un correcto desencofrado. (NC.ISO1920-3, 2010)

Figura 4 Moldes de madera para las muestras del ensayo ASTM C157

Figura 5 Moldes metálicos para muestras del ensayo de resistencia a compresión

2.4.3 Pesaje de los materiales

Las materias primas se pesan en una balanza digital de 30 kg como máximo y para evitar un gasto innecesario de materiales se ajustaron a 20 litros para cada muestra. Se muestran las cantidades de materiales empleadas en la siguiente tabla:

Tabla 2.9 Dosificación para 20 litros empleadas en las muestras

Dosificación para 20 litros							
Material	MP1	MP2	M1	M2	M3	M4	M5
Cemento (kg)	8,4	18,4	5,88	5,88	5,88	7,14	7,14
LC^2 (kg)	0	0	2,52	2,52	2,52	1,26	1,26
Arena (kg)	18,7	18,7	18,74	18,74	18,81	18,87	18,82
Granito (kg)	-	5,18	-	-	-	-	-
Gravilla (kg)	17,82	12,46	17,82	17,82	17,82	17,82	17,82
Agua (l)	3,42	3,5	3,41	3,88	4,32	3,38	3,4
Aditivo Sika Plast (l)	0,055	0,055	0,084	0,084	0,084	0,055	0,067

La balanza digital, así como los materiales usados para la elaboración de las mezclas se muestran en las figuras 6 y 7 respectivamente.

Figura 6 Balanza digital de 30 Kg

Figura 7 Materiales pesados

2.4.4 Llenado de moldes y compactación del hormigón

La colocación y la compactación de las muestras de hormigón se realizan según lo que establece la (NC.ISO1920-3, 2010). Para las probetas cilíndricas, en 2 capas aproximadamente iguales y compactada con 15 golpes cada una con la varilla de compactación, que se complementa con golpes en los lados del molde con la maceta de manera que se logre una completa compactación, terminada la compactación se elimina el hormigón sobre el borde superior del molde y se nivela la superficie cuidadosamente, Para las probetas prismáticas y el canal de

retracción, la mezcla se coloca de igual manera, en dos capas aproximadamente iguales y apoyándose de la varilla para compactar el hormigón.

Figura 8 Llenado y compactación de los moldes

2.4.5 Desencofrado y curado de las probetas

Las probetas cilíndricas se dejan en el molde 24 horas antes de ser desencofradas, inmediatamente después del desencofre son marcadas y sumergidas en el tanque de curado con la temperatura adecuada y por el tiempo requerido para realizar cada ensayo, según lo establecido la (NC.ISO1920-3, 2010). Las probetas prismáticas se dejan encofradas igual por 24 horas, pero luego de ser desencofradas y marcadas no pasan por ningún proceso de curado y se realiza la primera medición. Para el hormigón colocado en el canal, no es retirado del molde hasta después de terminar la medición a los 7 días.

Figura 9 Probetas cilíndricas en el tanque de curado en el laboratorio de hormigón

Figura 10 Probetas prismáticas expuestas en el laboratorio de durabilidad

2.5 Ensayos en estado fresco

2.5.1 Cono de Abrams

Para realizar el ensayo se utiliza un molde de metal que no reacciona con la pasta de cemento, con interior liso y libre de protuberancias y dientes. Tiene forma de cono truncado hueco y con las siguientes dimensiones internas: 200mm de base, 100mm de extremo superior y 300mm de altura. Este se coloca sobre una superficie plana o placa de dimensiones mínimas 800x800 mm y 2mm de espesor, dispuesta de forma horizontal.

Procedimiento de ensayo

Según la (NC.ISO1920-2, 2010) Ensayos al hormigón Parte 2:Propiedades del hormigón endurecido. Antes de verter el hormigón se humedece el interior del molde y la base plana con un paño de manera tal que no quede agua en exceso en las superficies.

El molde se llena en tres capas, cada capa se compacta con 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de compactación. Después de llenado perfectamente el cono y enrasada la superficie con la misma varilla, se limpia el derrame de hormigón alrededor del molde y sobre la placa base.

Se extrae el molde con un alzamiento firme sin que se produzcan movimientos verticales o de torsión. Inmediatamente después que se extrae el molde, se determina el asentamiento midiendo la diferencia entre la altura del molde y la altura media del hormigón descendido.

Figura 11 Medición de asentamiento por el cono de Abrams

Tabla 2.10 Asentamientos por el cono de Abrams. Fuente:(NC:120, 2014)

Tipo	Valoración cualitativa	Asentamiento (mm)
A1	seca	10 a 40
A2	plástica	50 a 90
A3	blanda	100 a 150
A4	**fluida**	**160 a 210**
A5	Muy fluida	Mayor de 220

Resultados del ensayo

Los resultados de asentamiento de las mezclas en estudio se observan en la tabla 2.11 que se muestra a continuación. Para observar todas las mediciones para obtener estos valores (Ver Anexo I)

Tabla 2.11 Asentamiento de las muestras en el cono de Abrams

Muestras	Composición	Ra/c	Asenamiento (mm)	Valoración cualitativa
MP1	P35 + Sika Plast 0,65%	0,40	203	fluida
MP2	P35 + Granito + Sika Plast 0,65%	0,40	210	fluida
M1	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,40	159	fluida
M2	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,45	194	fluida
M3	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,50	188	fluida
M4	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,65%	0,40	159	fluida
M5	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,80%	0,40	175	fluida

2.6 Ensayos en estado endurecido

2.6.1 Ensayo de resistencia a compresión a los 7 y 28 días

Para realizar el ensayo a la compresión se utilizan probetas cilíndricas de 100mm x 200mm confeccionadas con moldes de acero que no reaccionan con los álcalis del cemento. Los moldes son estancos y conservan sus dimensiones lo que le proporciona a las probetas dimensiones y tolerancias admisibles para el ensayo. (NC.ISO1920-3, 2010)

Procedimiento de ensayo

Las probetas a ensayar tienen edades de 7 y 28 días. A partir de lo establecido en la (NC:724, 2015) Ensayos de hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido, una vez curadas las probetas en agua, se les quita la humedad en

exceso de la superficie antes de colocarlas en la máquina de ensayo. El tiempo transcurrido entre la extracción de la probeta del tanque de curado hasta que es ensayada debe ser el menor posible y nunca más de 3 horas. El ensayo se lleva a cabo en una prensa o máquina estándar de ensayo a compresión, modelo Ibertest ubicada en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas, la máquina esta calibrada y se verifica anualmente. En principio, el resultado del ensayo se obtiene al dividir la carga soportada por el área transversal de la probeta.

El cálculo de la resistencia a compresión viene dado por la fórmula siguiente:

$fc = F/Ac$

Donde:

fc = Resistencia a compresión expresada en (MPa)

F = Carga Máxima, expresada en (N);

Ac = Área de la sección transversal de la probeta sobre la cual actúa la fuerza a compresión, expresada en (mm^2).

Figura 12 Prensa Ibertest para el ensayo a compresión

Resultados de ensayo

Las resistencias a compresión que se obtienen en el ensayo se muestran en la tabla 2.12. Para observar todas las mediciones para obtener estos valores (Ver Anexo II)

Tabla 2.12 Valores de resistencia a compresión (MPa) a los 7 y 28 días

Muestras	Composición	Ra/c	7 días	28 días
MP1	P35 + Sika Plast 0,65%	0,40	42,5	51,66
MP2	P35 + Granito + Sika Plast 0,65%	0,40	41,4	49,11
M1	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,40	37,7	46,52
M2	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,45	35,4	45,41
M3	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,50	33,3	40,53
M4	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,65%	0,40	38,9	48,63
M5	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,80%	0,40	43,1	53,84

2.6.2 Ensayo de retracción ASTM C-157

El ensayo de retracción se efectúa acorde a la norma (ASTM-C-157, 2006) Método estándar para el cálculo de cambios de longitud en morteros y concreto. Las dimensiones de las probetas seleccionadas son de 75 x 75 x 285 mm ya que el tamaño máximo del árido grueso es 19,1mm. Se establece utilizar 3 muestras por cada condición a ensayar. En la cara superior e inferior de las probetas se ubican los insertos, los cuales constituyen referencias para efectuar las mediciones posteriores.

Procedimiento de ensayo

A las 24 horas de hormigonado, las probetas deben ser desencofradas y se efectúa la primera medición. Las muestras se miden durante 28 días, donde se les controla la longitud y el peso diariamente.

Las mediciones se realizan con un defómetro siguiendo la siguiente metodología:

1. Se selecciona un comparador (varilla de longitud invariable).
2. Medición del comparador (de longitud 285 mm).
3. Se mide la muestra por sus 4 caras.
4. Se registra la diferencia de las lecturas entre la muestra y el comparador.
5. Se calcula la deformación a través de la expresión:

$$\Delta Lx = \frac{CRD - initialCRD}{G} x\ 1000000$$

Donde:

ΔLx - Deformación de la muestra a cualquier edad en mm/mm x 10^{-6}.

CRD - Diferencia entre la lectura del comparador y la de la muestra a cualquier edad.

G - Longitud del comparador.

6. Se calcula la deformación de una muestra hallando el promedio entre las deformaciones de las cuatro caras.
7. Se determina el promedio entre las deformaciones de las 3 muestras.
8. Se realiza una gráfica de deformación (ΔL) contra tiempo (días) para cada condición ensayada.
9. Se efectúa el pesaje de las muestras.

Figura 13 Defómetro para el ensayo de ASTM C-157

Resultados del ensayo

Las deformaciones que sufren los hormigones en estudio por el ensayo de ASTM-C-157, se muestra en la tabla 2.13. Para observar todas las mediciones que obtiene el canal (Ver Anexo III)

Tabla 2.13 Deformación de las muestras en el ensayo ASTM C-157

Tiempo (días)	Deformación (µm)						
	MP1	MP2	M1	M2	M3	M4	M5
1	86,11	92,11	69,33	47,78	178,67	59,22	93,56
2	160,33	125,33	116,78	105,56	216,56	107,78	122,56
3	236,56	157,89	156,00	146,56	236,22	119,78	145,22
4	269,22	180,89	189,00	179,56	265,11	137,54	165,56
5	304,22	207,44	207,56	196,44	295,67	149,36	188,22
6	322,67	219,78	235,00	245,44	327,33	157,76	203,89
7	336,99	237,56	255,00	258,33	354,22	167,76	217,03
8	346,54	265,56	267,22	289,56	363,00	177,61	226,81
9	367,65	278,78	274,89	294,00	370,30	187,02	242,47
10	380,65	287,11	300,22	302,00	376,13	195,36	256,30
11	392,43	312,89	309,56	307,87	380,80	203,28	264,19
12	404,88	317,33	320,44	313,30	385,23	209,93	269,41
13	414,32	329,33	321,44	317,23	389,31	214,38	285,41
14	419,10	333,89	326,11	320,37	393,65	216,93	296,41
15	428,10	338,22	330,44	324,68	400,29	222,93	312,08
16	434,43	342,39	334,46	328,68	403,95	234,83	322,40
17	440,10	346,39	338,46	331,73	407,11	245,17	328,98
18	444,96	350,39	342,36	334,71	409,89	251,95	334,45
19	448,29	354,28	345,92	339,38	416,67	257,87	338,55
20	451,44	357,95	349,23	348,83	418,11	264,85	343,41
21	454,11	361,60	352,25	356,59	430,45	271,25	370,63
22	456,54	365,02	354,83	369,45	449,78	-	-
23	458,97	368,33	357,08	380,03	460,56	-	-
24	461,64	371,44	365,19	389,36	470,07	-	-
25	464,12	373,55	369,30	397,50	480,74	-	-
26	466,43	377,44	372,08	403,79	488,86	-	-
27	469,87	378,88	377,19	408,68	490,23	-	-
28	470,39	379,64	383,52	414,12	494,72	-	-

2.6.4 Ensayo del canal de retracción

El canal de retracción es un perfil de acero inoxidable en forma de U y de 1.00m de longitud. Para evitar la fricción entre el hormigón y las paredes del canal, se utiliza una lámina de neopreno. El canal posee un ancla fija en cada uno de sus extremos y un ancla móvil que se desplaza sobre tres ruedas. Dicho movimiento es registrado por una sonda LVDT de alta sensibilidad. Como sensor de desplazamiento, se utiliza una sonda digital que está conectada a una sonda de interfaz electrónica que convierte la señal analógica a formato digital.

Un *datalogger* con el sistema de referencia, registra la información del canal de retracción y la almacena como archivos estándar ASCII. De forma opcional, es posible hacer un registro sincronizado de temperatura y humedad. Para un mejor procesamiento de los datos y análisis de resultados, se utiliza Microsoft Excel.

Figura 14 Sensor de desplazamiento, ancla fija y ancla móvil

Figura 15 Lámina de neopreno para impedir la fricción entre el hormigón las paredes del canal

Resultado del ensayo

Los valores de deformación registrados durante 7 días de las muestras en el canal de retracción se reflejan en la tabla 2.14. Para observar todas las mediciones que obtiene el canal (Ver Anexo IV)

Tabla 2.14 Valores de deformación en (µm)

Tiempo (días)	Deformación (µm)				
	MP1	M1	M2	M3	M5
1	887,45	1397,71	1424,87	1462,11	1030,02
2	920,41	1365,97	1435,55	1471,58	1038,91
3	939,33	1376,95	1453,25	1491,11	1049,29
4	960,99	1352,84	1473,39	1511,25	1034,53
5	968,32	1372,68	1481,01	1521,01	1049,90
6	999,75	1373,50	1483,76	1546,97	1034,64
7	976,12	1373,86	1486,85	1549,70	1041,71

2.7 Conclusiones Parciales del Capítulo

- Se define en los hormigones elaborados con adición puzolánica de LC^2 al 15% y 30 % del contenido de cemento, una consistencia fluida, que se determina mediante el Cono de Abrams.
- La deformación que sufren los hormigones elaborados con LC^2 al 15 y 30%, es debido a la retracción por secado y refleja el efecto positivo del uso de arcillas calcinada en la durabilidad del hormigón, según los procedimientos de la ASTM C-157.
- El canal de retracción permite obtener, de forma más precisa, los cambios sufridos por el hormigón en 7 días y principalmente en las primeras 24 horas donde se evalúa los cambios de volumen en los procesos de hidratación en la matriz cementicia.
- Se obtienen los valores de resistencia los 7 y 28 días en hormigones elaborados con un 15% y un 30% de LC_2 como adición puzolánica, lo que refleja el uso de dicha adición en hormigones de más de 35MPa.

Capítulo III: Introducción del LC^2 como adición puzolánica en hormigones fluidos

3.1 Introducción

En este capítulo se procede con el análisis y comparación de los resultados de los ensayos que se realizan a hormigones, para su elaboración se utiliza P 35 y LC^2 como adición puzolánica a la mezcla. Al hormigón en estado fresco se le determina la consistencia mediante el ensayo del cono de Abrams. Mientras que en estado endurecido se evalúa la resistencia a compresión a los 7 y 28 días, la retracción por secado que experimenta a través del canal de retracción y el ensayo ASTM C-157. Los análisis de los resultados permiten comprobar el efecto de la sustitución parcial (15%y 30%) del cemento por la adición puzolánica LC^2 en las propiedades físico mecánicas de los hormigones.

3.2 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la consistencia. Ensayo del cono de Abrams

La adición puzolánica LC^2, es una base de arcilla calcinada, caliza y yeso. Este permite una sustitución parcial de hasta un 40% del Cemento Portland. En estudios anteriores se define la adición solo para hormigones plásticos, pero este estudio pretende evaluar el efecto del LC^2 en hormigones fluidos, los cuales tienen características diferentes. Por eso es importante analizar las sustituciones que se evalúan a nivel internacional (de 10-30%).

3.2.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15%. Consistencia

Se realiza la comparación entre la mezcla patrón (MP1) y las mezclas con 15 % de LC^2 (M4 y M5) en la que solo varia la cantidad de aditivo para mejorar el asentamiento. Todas tienen relación agua cemento de 0.4.

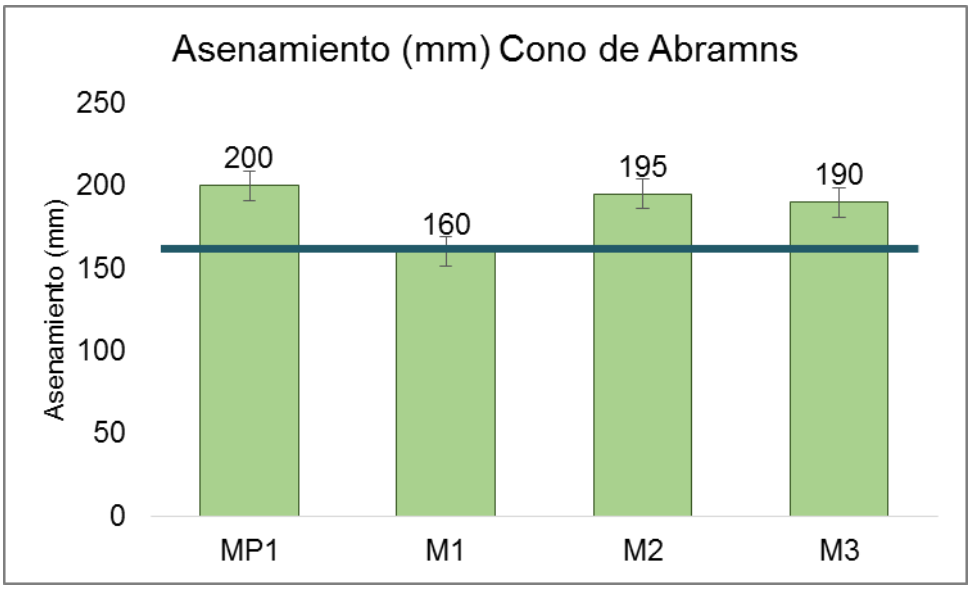


Gráfico 3.1 Consistencia de las mezclas con 15% de LC^2 (M4, M5)

Como se observa en gráfico 3.1, Las mezclas con 15 % de LC^2, M4 (LC^2 15% + 0,65% aditivo, Ra/c=0,40) y M5 (LC^2 15% + 0,80% aditivo, Ra/c=0,40); alcanzan asentamientos inferiores a la mezcla patrón MP1 (P35 + 0,65 % aditivo, Ra/c=0,40). La mezcla M4 posee el menor asentamiento ya que la incorporación LC^2 exige mayor cantidad de agua y la relación agua cemento 0,40 no es suficiente para suprimir dicha demanda. La mezcla M5 tiene un incremento de 1,5cm respecto a M4, debido al incremento del por ciento de aditivo. Es necesario aumentar dicho por ciento ya que se pretende alcanzar asentamientos superiores a los 18cm como se especifica en el Capítulo II.

3.2.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en el asentamiento

Se realiza la comparación entre la muestra patrón (MP1) y las muestras con 30 % de LC^2 (M1, M2 y M3) en estas últimas varía la relación agua cemento y poseen 1% de aditivo Sika Plast.

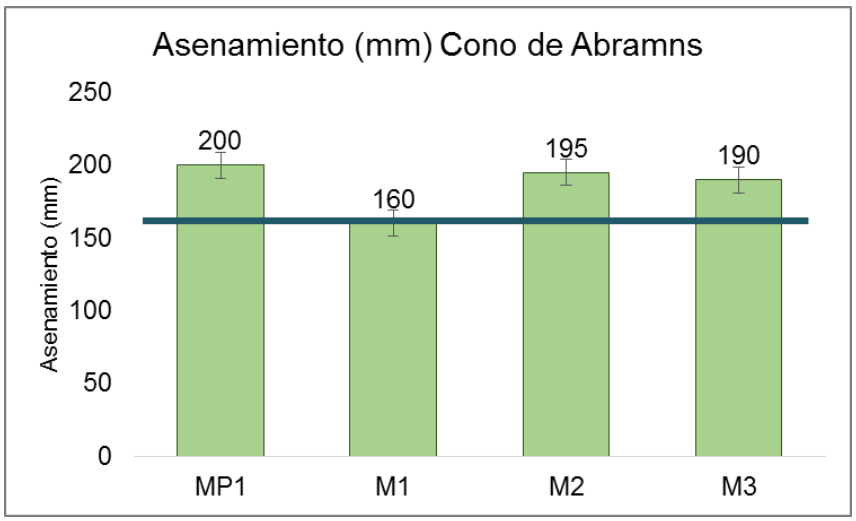


Gráfico 3.2 Consistencia de las mezclas con 30% de LC^2 (M1, M2, M3)

La mezcla M1 (LC^2 30%, Ra/c=0,40) es la de menor asentamiento, dado que presenta menor relación agua cemento, la cual es absorbida rápidamente por la arcilla. La mezcla M2 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) con un asentamiento igual a 195mm es la que alcanza mayor asentamiento, pues con la relación agua cemento de 0,45 se logran hidratar todos los componentes del cemento. Por otro lado, la M3 (LC^2 30%, Ra/c=0,50) aunque posee un asentamiento de 190 mm, sufre problemas de segregación por el exceso de agua en la mezcla.

3.2.3 Análisis de la adición puzolánica LC^2 en la consistencia

Se analizan todas las muestras en estudio, como se muestra en el gráfico 3.3

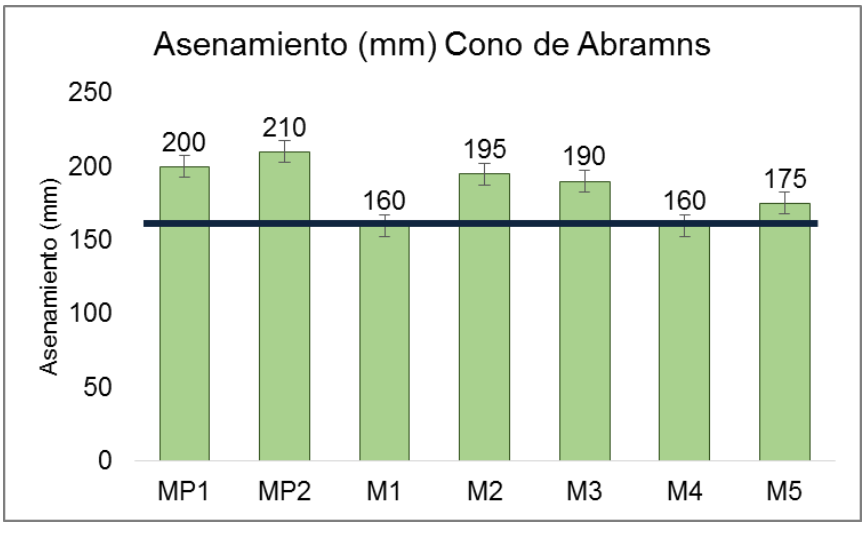


Gráfico 3.3 Asentamientos de todas las mezclas

En el gráfico 3.3 se observa que todas las mezclas cumplen con el asentamiento mínimo de 160mm requerido por la norma para los hormigones fluidos que se representa con una línea horizontal en gráfico. Tanto la mezcla M1 (LC^2 30%, Ra/c=0,40) como la mezcla M4 (LC^2 15%+ 0,65 % de aditivo, Ra/c=0,40) son las de menores asentamientos con un valor de 160 mm. La mezcla M2 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) con un asentamiento de 195mm es la que más se acerca al valor de la mezcla MP1 (P350 + 0,65 % aditivo, Ra/c=0,40) con un asentamiento de 200mm. Por otro lado, la mezcla MP2 (P350 + Granito + 0,65 % aditivo, Ra/c=0,40) posee un asentamiento de 210mm que supera a la mezcla MP1.

Se define que los hormigones elaborados con la adición puzolánica LC^2 tanto al 15 como al 30% de sustitución cumplen con lo requerido por la (NC:120, 2014) Hormigón hidráulico. Especificaciones.

3.3 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la resistencia mecánica. Ensayo de la resistencia a compresión

Una de las propiedades más importantes por las que se rigen todos los sistemas constructivos es la resistencia que presenta los hormigones con los que son elaborados, por eso es evidente analizar cuánto puede afectar el cambio de una dosificación a esta propiedad. En la investigación se evalúan las muestras con la adición del LC^2 como puzolana artificial al 15 y 30% y se describe los efectos en la resistencia a compresión por la (NC:724, 2015) Ensayos de hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.

3.3.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15% en la resistencia a compresión

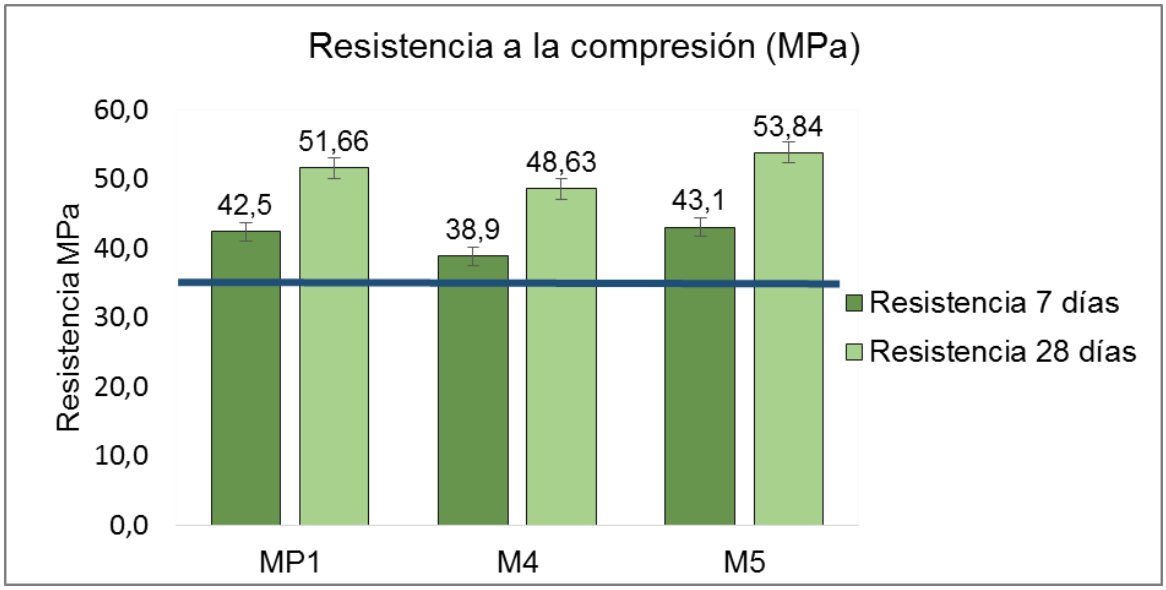


Gráfico 3.4 Resistencias a compresión de las mezclas con 15% de LC^2 (M4, M5)

Como se puede observar en el gráfico 3.4 las mezclas con LC^2 al 15% presentan resultados muy parecidos a los de la mezcla patrón. La mezcla M5 (LC^2 15% + 0,80% aditivo, Ra/c=0,40) sobrepasa en 2MPa a los 28 días la mezcla patrón, mientras que la mezcla M4 (LC^2 15%+ 0,65 % de aditivo, Ra/c=0,40) disminuye en la misma razón. Ya a los 7 días todas las mezclan cumplen con la resistencia deseada de 35MPa. En las mezclas con LC^2 se observa la diferencia en los valores, debido al por ciento de aditivo, ya que en la mezcla M5 se trabaja con 0,8% del SikaPlast y en la M4 solo 0,65%, la misma que tiene la muestra Patrón MP1. Aquí se observa cómo influye el por ciento de aditivo en las propiedades del hormigón, según el productor, este aditivo se puede utilizar hasta un 2%.

3.3.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en la resistencia a compresión

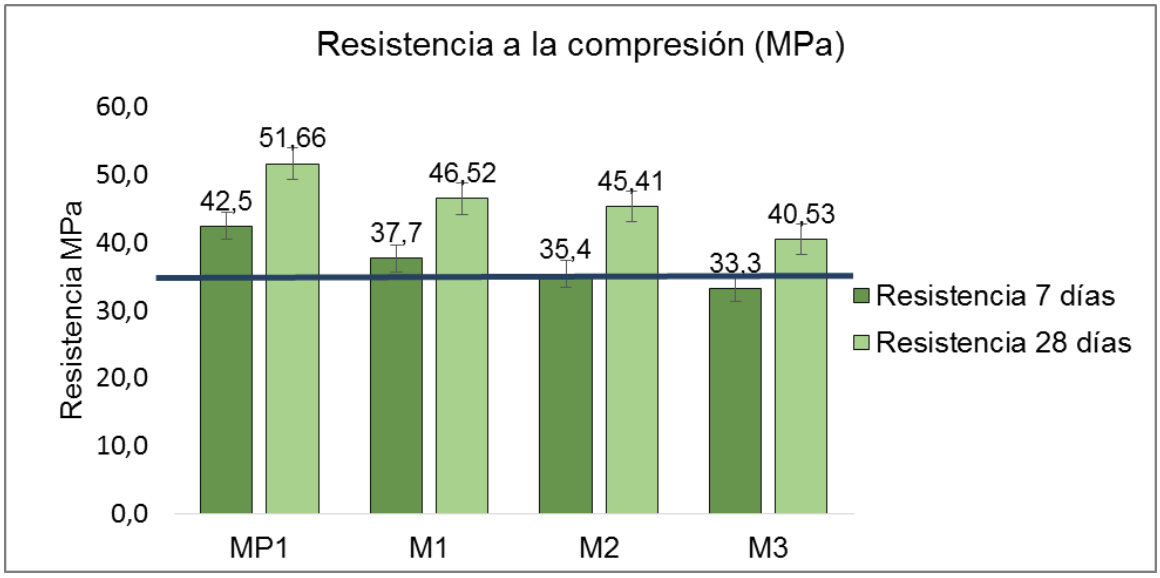


Gráfico 3.5 Resistencias a compresión de las mezclas con 30% de LC^2 (M1, M2, M3)

El gráfico 3.5 se muestra que a los 7 días todas las mezclas alcanzan valores superiores a los 35MPa, excepto la M3 (LC^2 30%, Ra/c=0,50) con un valor de 33 MPa. Como se observa en las muestras con LC^2, al aumentar la relación agua cemento la resistencia disminuyen en un valor de 2MPa. Como se hace referencia en el Capítulo I, al aumentar la relación agua cemento se produce mejor las reacciones químicas en la pasta, pero al incluir los áridos puede quedar mayor cantidad de agua en el sistema que no interactúe con las partículas de cemento y provoque que queden poros interconectados y disminuya la resistencia en la masa de hormigón. La evolución de la resistencia de la manera descrita se debe a que una sustitución del aglomerante por LC^2 a los efectos prácticos significa una reducción del contenido real de cemento y para que ocurra la reacción puzolánica debe formarse primeramente una cierta cantidad de cal de hidrólisis.

3.4 Efecto de la adición puzolánica LC^2 en la retracción por secado

Las adiciones puzolánicas tanto naturales como artificiales como es el caso del LC^2, tienen entre sus ventajas la disminución de la retracción, debido a los procesos de reacción puzolánica que ocurren en la pasta de cemento. Esta es una propiedad que afecta la durabilidad del hormigón y se debe estudiar con mucho

cuidado, ya que nunca se llega a eliminar, pero si se logra reducir los valores. Es necesario en esta investigación analizar cuánto puede influir la adición del LC^2 tanto al 15 como al 30% en la retracción producida en los hormigones.

3.4.1 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 15% en la retracción por secado

Según la ASTM C-157:2006 Método estándar para el cálculo de cambios de longitud en morteros y concretos, los valores de deformación que se reflejan son a partir de las 24 horas, es decir en las primeras horas de elaboración del hormigón este método no define los valores, por lo que es necesario analizar cuánto se contrae o se expande dicho hormigón en las primeras 24 horas. Por eso se define el ensayo del canal de retracción Schleibinger para evaluar la retracción que se produce en las muestras con adición puzolánica LC^2 al 15 y 30% respectivamente.

Retracción según Canal de retracción Schleibinger para las mezclas con 15% de LC^2

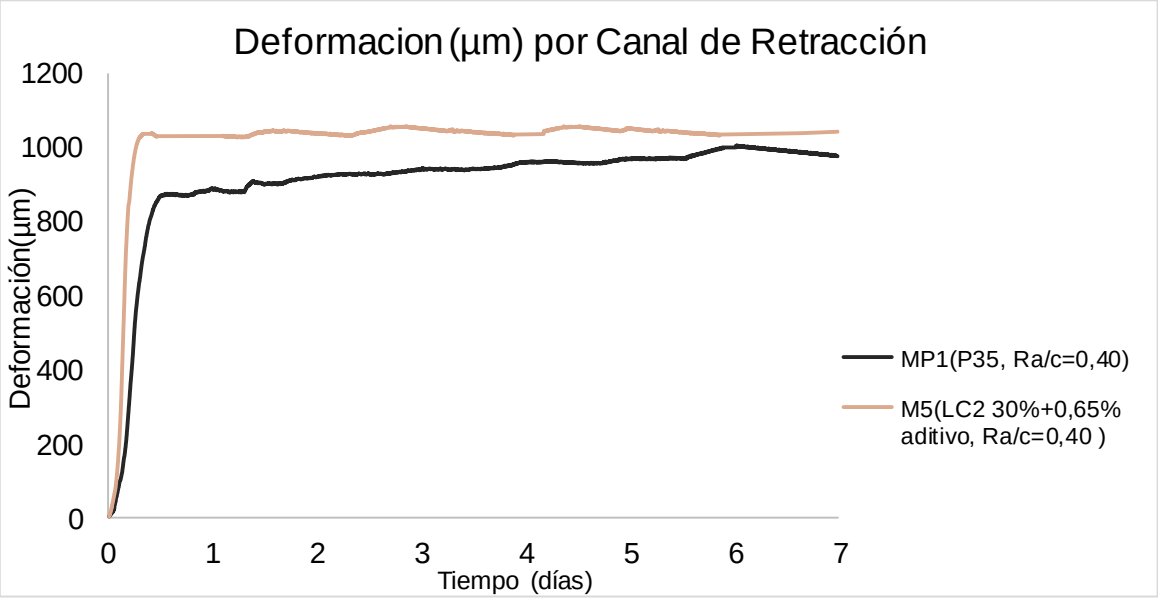


Gráfico 3.6 Deformación (µm) por retracción autógena de la mezcla con 30% de LC^2 (M5)

Como se observa en el gráfico 3.6 la mezcla M5 (LC^2 15% + 0,80% aditivo, Ra/c=0,40) tiene valores en menos de las 24 horas muy semejantes a las de la mezcla patrón, solo con una diferencia de 150 µm. La mezcla M5 alcanza el máximo valor a las 8 horas, mientras que la mezcla patrón MP1 lo alcanza a las 12

horas. En este ensayo se observa que en el proceso de hidratación del cemento las muestras con LC^2, acelera la formación de los componentes, lo que se refleja en los “picos” que se observan en el gráfico. Esto coincide con la formación de la ettringita en la hidratación del cemento.

En la segunda etapa, luego de las 24 horas, se define un ligero aumento en la mezcla patrón, mientras que la mezcla M5 tiene un comportamiento más estable. Esto se puede observar con los ensayos según el ASTM C-157.

Retracción según ASTM C-157 para las mezclas con 15% de LC^2

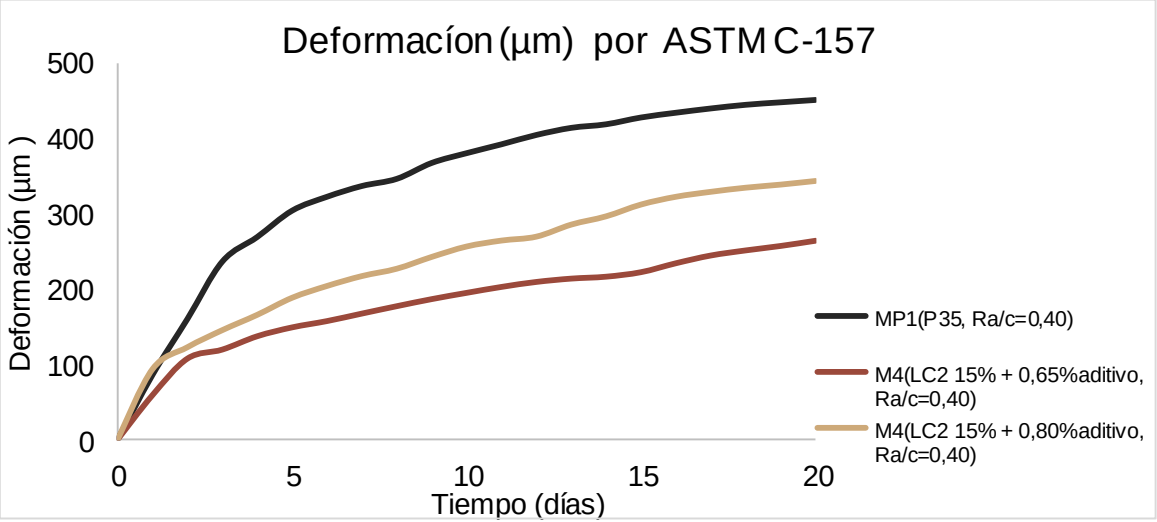


Gráfico 3.7 Deformación (µm) por retracción por secado de las mezclas con 15% de LC^2 (M4, M5)

En el gráfico 3.7 se aprecia que las mezclas con 15% de LC^2 disminuyen la retracción en un orden de 50% para M4 (LC^2 15% + 0,65% aditivo, Ra/c=0,40) y de un 30% para M5 (LC^2 15% + 0,80% aditivo, Ra/c=0,40). En las primeras 24 horas, la mezcla M4 presenta un mejor comportamiento, ya que reduce los valores de retracción de 86 µm a 59 µm (30%) mientras que M5 aumenta de 86 µm a 93 µm (8%), las dos con respecto a MP1 (P 350 + 65% aditivo, Ra/c=0,40). Se analiza la retracción por secado según ASTM C-157 a partir de las 24 horas de elaborado el hormigón y en esa etapa se puede observar que la mezcla M5 alcanza valores próximos a los de la mezcla patrón y que las mezcla M4 (LC^2 15%

+ 0,65% aditivo, Ra/c=0,40) es la de menores valores en el paso del tiempo y mantiene un comportamiento estable.

3.4.2 Análisis de la adición puzolánica LC^2 al 30% en la retracción por secado

El LC^2 como adición se utiliza como dosificaciones a partir del 10% y que no pase del 30%, debido al alto consumo de agua que requiere cada una de las muestras en su aplicación. Se define en el protocolo trabajar con 15 y 30% relaciones, ya que son las más estudiadas y representan el límite en las investigaciones. Para ello se tiene en cuenta el máximo valor que se estudia que es el 30%.

Retracción según Canal de retracción Schleibinger para las mezclas con 30% de LC^2

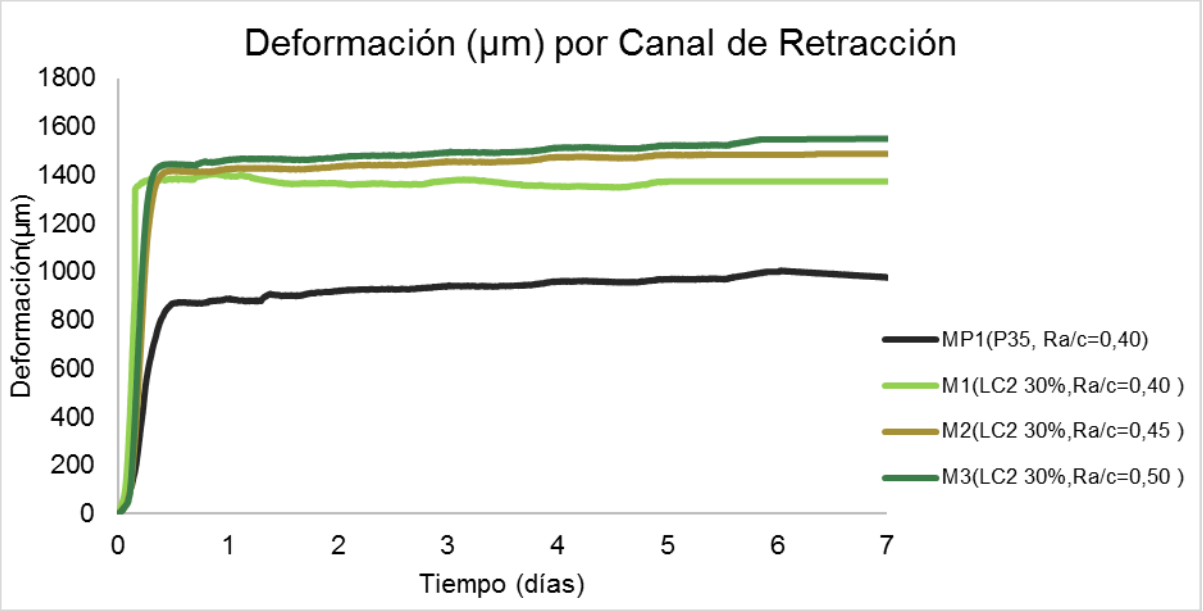


Gráfico 3.9 Deformación (µm) por retracción autógena de las mezclas con 30% de LC^2 (M1, M2, M3)

En el gráfico 3.9 se observa que la mezcla M1 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) alcanza en menor tiempo sus máximos valores, mientras que las mezclas M2 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) y M3 (LC^2 30%, Ra/c=0,50) se demoran alrededor de 8 horas. La M1 al tener menos cantidad de agua en el sistema ocurren los procesos de hidratación más rápido y se forman a mayor velocidad los compuestos. La M3 es la de mayores valores con una deformación de 1460 µm. En el comportamiento de estas mezclas tiene influencia la hidratación la pasta de cemento. En este proceso

se producen importantes cambios de volumen debido a la formación de la fase trisulfoaluminato hidratado (ettringita). Al aumentar la relación agua-cemento en las mezclas se forman mejor todos los componentes de la pasta de cemento, con ellos la ettringita. Por todo esto M1 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) presenta un mejor comportamiento ante los cambios de volumen, ya que posee menor contenido de agua con respecto a M2 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) y M3 (LC^2 30%, Ra/c=0,50).

Retracción según ASTM C-157 para las mezclas con 30% de LC^2

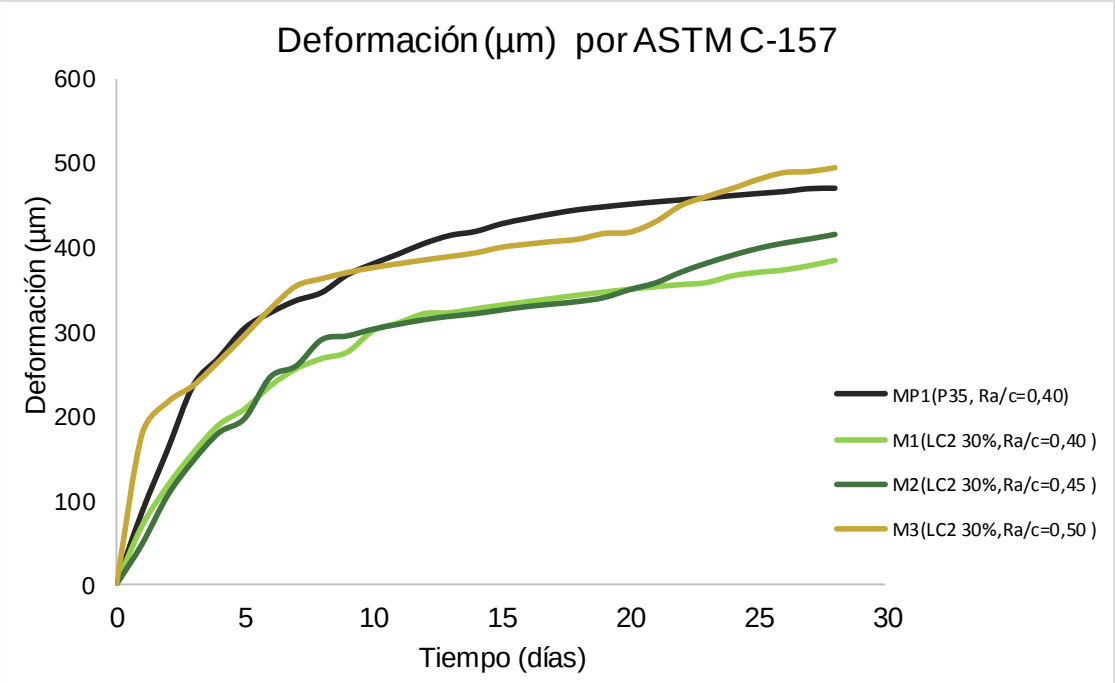


Gráfico 3.8 Deformación (µm) por retracción por secado de las mezclas con 30% de LC_2 (M1, M2, M3)

En el gráfico 3.8 se observa que en el caso de M2 (LC^2 30%, Ra/c=0,45) en edades de 5 a 10 días ocurre una mayor retracción, ya que presenta un aumento en 24 horas de 50 µm. La mezcla M1 (LC^2 30%, Ra/c=0,40) es la de mejor comportamiento, no presenta variaciones y disminuye en los 7 primeros días 88 µm. Por otro lado, la mezcla M3 (LC^2 30%, Ra/c=0,50) es la que experimenta mayor retracción, alcanza en las primeras 24 horas los 200 µm, donde la M1 solo alcanza 69 µm. Se puede definir que la M3 es la de valores próximos a la Patrón,

aunque a partir de los 10 días, disminuyen en 30 µm. Las muestras M1 y M2 alcanzan valores menores que la Patrón MP1 (P 35, Ra/c=0,40), pero la M1 es la que tiene menores deformaciones en el tiempo, es decir que en un período de 28 días solo varía 383 µm, además es la que presenta mejor comportamiento en el paso del tiempo. Esto no sucede con los dos restantes muestras, ya que al aumentar la relación agua-cemento queda un por ciento libre de esta en el sistema y pueden aparecer otros fenómenos en el proceso de hidratación.

3.5 Conclusiones parciales del Capítulo

- Las mezclas con la adición puzolánicas LC^2 al 15 % y aditivo SikaPlast al 0,8% y relación agua cemento de 0,4, son las que presentan los máximos valores de resistencia desde las primeras edades (7días), Las cuales cumplen en más de 12MPa.

- Según ASTM C-157 las mezclas con adición puzolánica LC^2 tanto al 15 como al 30%, disminuyen en el tiempo los valores de retracción, pero la M5 (LC^2 15% + 0,80% aditivo, Ra/c=0,40) reduce en un orden del 50% con respecto a la Patrón.

- En las primeras 24 horas las mezclas con adición puzolánica LC^2 (15 y 30%) aumentan los valores de retracción debido a la reacción de las arcillas con el agua y el máximo valor se alcanza con la formación de la ettringita, pero en el transcurso del tiempo disminuyen, mejorando su comportamiento.

CONCLUSIONES GENERALES

- La puzolana, tanto natural como artificial, es capaz de sustituir parcialmente al cemento portland hasta un 30% y garantiza los bajos valores de calor de hidratación, esta condición puede evitar de forma eficiente la retracción y por ende la fisuración de los hormigones.
- Las mezclas con adición puzolánica LC^2 al 15% presentan menor retracción que las muestras con 30%. Estas pueden disminuir hasta un 50% las deformaciones en el tiempo, aunque en la etapa inicial, por los procesos de hidratación que ocurren en el sistema, tienden a aumentar.
- El LC^2 como adición puzolánica al 15% con relación agua-cemento a 0,4, se puede utilizar como medida de mitigación para la retracción que se produce en los elementos de hormigón de la ECOT Cayo Santa María.

RECOMENDACIONES

- Hacer réplicas de estos ensayos pero otras dosificaciones que se utilizan en la ECOT Cayo santa María, las cuales incluyen el mínimo y el máximo de aglomerante que se utiliza en dicha empresa constructora.
- Incluir un estudio de implementación en elementos reales para definir la cantidad, profundidad y longitud de las grietas que se producen en estos elementos elaborados con LC^2 como adición.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, J. M. 2018. Nuevo estudio en industria de cementos cubanos. Semanario económico y financiero de Cuba.

ALUJAS, A. 2010. Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación termica de una fracción de arcillosa multicomponente.

AMADOR, Á. 2015. Hormigones reforzados con Fibras.

APUNTES, B. I. C.-N. Y. 2011. Cemento Prtland Puzolánico.

ASTM-C-157 2006. Método estándar para el cálculo de cambios de longitud en morteros y concretos.

BAUERSFELD, W. 2004. Hormigonería, un canto al hormigón.

BECKER, E. 2014. Cemento portland puzolánico. Características y recomendaciones de uso. *Loma Negra*.

BETANCOURT, S. 2013. Tecnología del hormigón.

BETANCOURT, S. 2014. Materiales y Productos de la Construcción .Tema 4: Aglomerantes. Cementos puzolánicos.

BETANCOURT, S. 2015. Tecnología del hormigón. Otras propiedades del hormigón endurecido

BLAZQUEZ, L. B. 2010. Tema 3. Componentes del hormigñon.

BONAVETTI, V. L. R., V.F. E IRASSAR, E.F. 2002. Evolución de la hidratación del cmento con adiciones.

CABRERA, D. R. 2010. *Durabilidad en Hormigones producidos con puzolanas a partir de arcillas calcinadas.* Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

CALLEJA, J. 1991. Cementos puzolánicos.

CANTU, J. C. 2001. *Activación mecánicas de arcillas.* Universidad Autonóma de Nuevo León.

CARRASCO, M. F. 2014. Porpiedades del hormigón endurecido.

CASTILLO, R. F., R.ANTONI ,M. SCRIVENER,K. ALUJAS,A. MARTIRENA,J,F. 2010. Activación de arcillas de bajo grado a altas temperaturas.

CASTRO, M. L. J. T. 2010. Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo

CIDEM 2018. Influencia del cemento PP 35 en la retracción por secado producida en hormigones fluidos de 35MPa.

CONCRETO, I. D. 2006. Propiedades del hormigón endurecido.

CORAL, D. P. L. C. K. M. V. 2013. *Caracterizacion y activación quñimica de arcilla tipo betonita para su evaluacion en la efectividad de remoción de fenoles presentes en aguas residuales* Universidad Tecnologíca de Pereira.

COSTAFREDA, J. L. C., B. Y PARRA, J.L 2011. Criterios para el aprovechamiento de tobas dacíticas en la sustitución de cmento Portland en morteros y hormigones.

EDIFICACIÓN, I. D. 2013. Hormigones.

GARCÍA, E. 2011. *Estudio de retracción en una estructura real: estudio teórico y contrastación experimental.* Universidad Alfonso X el sabio.
GARCÍA, J. M. R. P. M. 2007. Reactividad puzolánica de una arcilla regional.
GÓMEZ, I. 2015. *Evaluación de la retracción en hormigones para bungalows. Series en el tiempo 2013-2015. Impacto encogimiento autógeno.* Universidad Marta Abreu de las Villas.
GÓMEZ, M. D. 2012. *Evaluación de la fisuración de hormigones en zonas marinas, producto de cambios autógenos de volumen, específicamente debidos a la retracción por secado.*
HERMINA, G. G., J. Y ROMERO, A. 2005. Agrieto luego existo. La retracción del concreto.
HOLT, E. E. 2001. Early age autegenous shrinkage of concrete.
IDIART.A 2010. Análisis numérico de la retracción por secado en muestras de hormigón – Capítulo 3.
IMCYC. 2011. *Arte de la tecnología* [Online]. http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/artetecnologia.html.
JARRE, C. M. 2017. Impactos de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas. *RIEMAT.*
JOISEL, A. 1981. *Fisuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios*, Reverte.
LATORRE, V. V. 2009. *Influencia del contenido de adiciones puzolánicas y del roceso de elaboración de la mezcla en la resistencia mecánica del hormigón.* Universidad de chile.
LIMONTE, G. B. 2016. *Evaluación de medidas de mitigación de la fisuración debido a la retracción por secado en hormigones para obras hoteleras en Cayo Coco.* Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
LODOÑO, C. 2012. *¿Qué sabes de la contracción (retracción) del concreto?* [Online].
LÓPEZ, V. P. 2003. *Estudio de los efectos de algunos materiales componentes en las propiedades mecánicas de hormigones de altas prestaciones desde edades tempranas.* Universidad Politécnica de Madrid.
MARINO, P. 2009. *Contracción por secado del hormigón.*
MUNIZAGA, G. A. 2009. *Fisuración por retracción en hormigones. Influencia del tipo de cemento.* Universidad de Chile.
NC.ISO1920-2 2010. Ensayos al hormigón Parte 2:Propiedades del hormigón endurecido.
NC.ISO1920-3 2010. Ensayos al hormigón. Parte 3. Elaboración y curado de probetas para ensayos.
NC:120 2014. Hormigón hidráulico. Especificaciones.
NC:228-1 2005. Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 1:Aditivos para hormigón - Requisitos.
NC:251 2013. Aridos para Hormigones Hidráulicos – Requisitos. .
NC:353 2004. Aguas para el amasado y curado del hormigón y los morteros
NC:528 2013. Cemento hidraúlico - puzolana.Espesificaciones.
NC:724 2015. Ensayos de hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.

OSS, H. G. & PADOVANI, A. C. 2002. Cement manufacture and the environment: part I: chemistry and technology. *Journal of Industrial Ecology,* 6**,** 89-105.
PEÑA, J. E. S. 2018. Reacción puzolánica.
PÉREZ, Y. 2011. Evaluación de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia de Holguín para su utilizacióncomo puzolana natural en la construcción. *Ciencia y futuro.*
PHILLEO, R. 1890. Cambios volumétricos y control de grietas en el concreto.
QUIÑONES, D. O. 2016. *Influencia de ñaridos de Villa Clara y Ciego de Ávila en el comportamiento de la fisuracion por cambios de volumen en el hormigón* Universidad Central ¨Mrta Abreu de las Villas¨.
ROBALINO, P. A. E., H. 2016. Uso de la zeolita como una adición mineral para producir cemento puzolánico.
SALAZAR, J. A. 2015. ¿Qué es una puzolana?
SANCHEZ, L. 2015. *Comportamiento de la retracción en hormogones a partir de la variación de los constituyentes a utilizar en los bungalows de Cayo Coco.* Universidad Central Marta Abreu de las villas.
SANJUAN, C. 2014. Fisuras en el hormigón. Retracción hidráulica. Causas.
SANT, G. N. 2009. *Fundamental investigation related to the mitigation of volume changes in cement based materials at early age.*
SHI, C. 2001. Comparison of different methods for enhancing reactivity of pozzolans.
SIKA 2012. Aditivos para Concreto.
SIKA 2013. Hoja Técnica del producto SikaPlast® 9100CU.
SIKA 2016. Hormigón durable y sustentable. *Building trust SIKA.*
SORIA, F. 1983. Las puzolanas y el ahorro energético en los materiales de construcción.
TABÓN, J. C. R. G. O. J. R. B. J. I. 2006. Efectos de la adición de metacaolín en el cemento portland.
TAYLOR, H. F. W. 1990. Cement Chemestry.
TÉCNICA., E. D. I. T. C. A. 2007. Tipos de hormigón y sus propiedades.
THOMA, M. D. A., FOLLIARD, K. J. & SCRIVENER, K. 2001. Doctoral Course: Concrete Durability. EPFL. Lausanne, Switzerland.
TIRONI, A. 2013. *Materiaes cementicios de baja energía. Activación térmica de arcillas, relación entre estructura y actividad puzolanica.*, Universidad Nacional de la Plata.
TORRES, C. A. 2017. Tema 8. Hormigón.

ANEXOS

ANEXO I Mediciones de asentamiento

Muestras	Composición	R a/c	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4	Valor 5	Promedio	**Asentamiento (mm)**	Valoración cualitativa
MP1	P35 + Sika Plast 0,65%	0,40	185	200	210	200	220	203	200	fluida
MP2	P35 + Granito + Sika Plast 0,65%	0,40	200	230	210	200	210	210	210	fluida
M1	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,40	170	150	140	160	175	159	160	fluida
M2	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,45	200	190	200	180	200	194	195	fluida
M3	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,50	190	190	200	180	180	188	190	fluida
M4	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,65%	0,40	160	150	160	170	155	159	160	fluida
M5	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,80%	0,40	170	170	165	180	190	175	175	fluida

ANEXO II

Valores de resistencia a compresión

muestras	composición	Ra/c	,Resistencia a Compresión (MPa)							
			7 días				28 días			
			valor 1	valor 2	valor 3	promedio	valor 1	valor 2	valor 3	promedio
MP1	P35 + Sika Plast 0,65%	0,40	39,5	45,5	42,4	42,5	54,5	51,0	49,5	51,66
MP2	P35 + Granito + Sika Plast 0,65%	0,40	40,8	41,3	41,9	41,4	48,2	48,5	50,6	49,11
M1	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,40	39,0	37,5	36,5	37,7	46,4	48,7	44,5	46,52
M2	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,45	35,4	37,8	32,9	35,4	45,3	44,5	46,4	45,41
M3	70% P35 + 30% LC^2 + Sika Plast 1,00%	0,50	32,2	34,2	33,4	33,3	40,4	40,8	40,4	40,53
M4	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,65%	0,40	37,5	38,7	40,5	38,9	46,8	48,4	50,6	48,63
M5	85% P35 + 15% LC^2 + Sika Plast 0,80%	0,40	44,0	42,5	42,8	43,1	55,0	53,1	53,5	53,84

ANEXO III Mediciones de deformación de probetas prismáticas por ASTM C157

Mediciones por Días MP1																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm)
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	x10-6
1	1	-6.445	-6.441	-6.447	-6.444	-6.449	-6.446	-6.448	-6.448	-6.441	-6.437	-6.436	-6.438	-6.446	-6.445	-6.442	-6.444	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	-3.915	-3.920	-3.902	-3.912	-3.904	-3.897	-3.893	-3.898	-3.905	-3.895	-3.896	-3.899	-3.898	-3.891	-3.885	-3.891	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	-3.624	-3.565	-3.543	-3.577	-3.697	-3.661	-3.641	-3.666	-3.650	-3.623	-3.594	-3.622	-3.546	-3.511	-3.523	-3.527	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	1	-6.432	-6.431	-6.430	-6.431	-6.438	-6.440	-6.439	-6.439	-6.429	-6.429	-6.428	-6.429	-6.438	-6.434	-6.436	-6.436	53.33	34.67	37.33	33.33	39.67	86.11
	2	-3.885	-3.887	-3.887	-3.886	-3.885	-3.882	-3.880	-3.882	-3.886	-3.887	-3.884	-3.886	-3.882	-3.880	-3.881	-3.881	104.00	62.67	52.00	41.33	65.00	
	3	-3.527	-3.530	-3.528	-3.528	-3.617	-3.642	-3.620	-3.626	-3.588	-3.582	-3.587	-3.586	-3.499	-3.497	-3.500	-3.499	196.00	160.00	146.67	112.00	153.67	
3	1	-6.434	-6.431	-6.436	-6.434	-6.434	-6.431	-6.436	-6.434	-6.423	-6.423	-6.422	-6.423	-6.432	-6.432	-6.429	-6.431	-10.67	21.33	24.00	20.00	13.67	74.22
	2	-3.876	-3.878	-3.875	-3.876	-3.874	-3.871	-3.872	-3.872	-3.877	-3.873	-3.874	-3.875	-3.872	-3.870	-3.874	-3.872	40.00	40.00	44.00	36.00	40.00	
	3	-3.498	-3.499	-3.496	-3.498	-3.574	-3.572	-3.572	-3.573	-3.541	-3.538	-3.539	-3.539	-3.459	-3.460	-3.462	-3.460	122.67	214.67	185.33	153.33	169.00	
4	1	-6.419	-6.418	-6.418	-6.418	-6.430	-6.428	-6.425	-6.428	-6.420	-6.418	-6.418	-6.419	-6.427	-6.424	-6.421	-6.424	61.33	24.00	16.00	28.00	32.33	76.22
	2	-3.870	-3.870	-3.868	-3.869	-3.864	-3.864	-3.862	-3.863	-3.863	-3.862	-3.860	-3.862	-3.862	-3.860	-3.858	-3.860	28.00	36.00	52.00	48.00	41.00	
	3	-3.441	-3.444	-3.445	-3.443	-3.546	-3.545	-3.543	-3.545	-3.524	-3.522	-3.521	-3.522	-3.402	-3.402	-3.409	-3.404	217.33	112.00	68.00	224.00	155.33	
5	1	-6.416	-6.415	-6.415	-6.415	-6.427	-6.425	-6.424	-6.425	-6.415	-6.414	-6.414	-6.414	-6.422	-6.422	-6.423	-6.422	12.00	9.33	17.33	6.67	11.33	32.67
	2	-3.863	-3.861	-3.861	-3.862	-3.859	-3.858	-3.857	-3.858	-3.861	-3.857	-3.859	-3.859	-3.855	-3.854	-3.852	-3.854	30.67	21.33	10.67	25.33	22.00	
	3	-3.427	-3.426	-3.424	-3.426	-3.538	-3.533	-3.534	-3.535	-3.504	-3.505	-3.502	-3.504	-3.385	-3.389	-3.383	-3.386	70.67	38.67	74.67	74.67	64.67	
6	1	-6.408	-6.409	-6.410	-6.409	-6.417	-6.416	-6.416	-6.416	-6.410	-6.409	-6.410	-6.410	-6.420	-6.416	-6.420	-6.419	25.33	36.00	18.67	14.67	23.67	35.00
	2	-3.856	-3.858	-3.855	-3.856	-3.852	-3.851	-3.851	-3.851	-3.858	-3.853	-3.850	-3.854	-3.848	-3.848	-3.847	-3.848	21.33	26.67	21.33	24.00	23.33	
	3	-3.412	-3.414	-3.413	-3.413	-3.516	-3.520	-3.519	-3.518	-3.488	-3.488	-3.484	-3.487	-3.376	-3.373	-3.373	-3.374	50.67	66.67	68.00	46.67	58.00	
7	1	-6.407	-6.406	-6.406	-6.406	-6.415	-6.417	-6.417	-6.416	-6.408	-6.407	-6.406	-6.407	-6.418	-6.413	-6.411	-6.414	10.67	0.00	10.67	18.67	10.00	18.44
	2	-3.851	-3.852	-3.850	-3.851	-3.848	-3.847	-3.847	-3.847	-3.853	-3.854	-3.852	-3.853	-3.843	-3.842	-3.842	-3.842	21.33	16.00	2.67	21.33	15.33	
	3	-3.410	-3.406	-3.405	-3.407	-3.510	-3.509	-3.504	-3.508	-3.480	-3.478	-3.478	-3.479	-3.370	-3.370	-3.366	-3.369	24.00	42.67	32.00	21.33	30.00	
8	1	-6.403	-6.402	-6.403	-6.403	-6.414	-6.412	-6.411	-6.412	-6.404	-6.403	-6.403	-6.403	-6.415	-6.415	-6.413	-6.414	14.67	16.00	14.67	-1.33	11.00	19.59
	2	-3.847	-3.845	-3.846	-3.846	-3.842	-3.843	-3.842	-3.842	-3.847	-3.847	-3.847	-3.847	-3.840	-3.841	-3.841	-3.841	20.00	20.00	24.00	6.67	17.67	
	3	-3.377	-3.374	-3.375	-3.375	-3.372	-3.371	-3.370	-3.371	-3.338	-3.338	-3.336	-3.337	-3.369	-3.366	-3.366	-3.367	34.67	27.09	51.93	6.67	30.09	
9	1	-6.401	-6.401	-6.401	-6.401	-6.410	-6.411	-6.410	-6.410	-6.401	-6.401	-6.402	-6.401	-6.411	-6.413	-6.413	-6.412	6.67	8.00	8.00	8.00	7.67	9.56
	2	-3.843	-3.841	-3.841	-3.842	-3.844	-3.842	-3.841	-3.842	-3.843	-3.842	-3.843	-3.843	-3.839	-3.839	-3.840	-3.839	17.33	0.00	17.33	5.33	10.00	
	3	-3.374	-3.371	-3.371	-3.372	-3.370	-3.370	-3.369	-3.370	-3.336	-3.335	-3.335	-3.335	-3.365	-3.362	-3.361	-3.363	13.33	5.33	8.00	17.33	11.00	
10	1	-6.399	-6.398	-6.400	-6.399	-6.400	-6.405	-6.405	-6.403	-6.399	-6.399	-6.398	-6.399	-6.407	-6.408	-6.408	-6.408	8.00	28.00	10.67	18.67	16.33	21.11
	2	-3.837	-3.838	-3.838	-3.838	-3.836	-3.836	-3.836	-3.836	-3.836	-3.838	-3.836	-3.837	-3.832	-3.829	-3.829	-3.830	16.00	25.33	24.00	37.33	25.67	
	3	-3.364	-3.365	-3.364	-3.364	-3.367	-3.365	-3.366	-3.366	-3.330	-3.333	-3.329	-3.331	-3.358	-3.357	-3.357	-3.357	30.67	14.67	18.67	21.33	21.33	
11	1	-6.394	-6.393	-6.394	-6.394	-6.405	-6.402	-6.404	-6.404	-6.395	-6.395	-6.394	-6.395	-6.408	-6.408	-6.407	-6.408	21.33	-1.33	16.00	0.00	9.00	13.00
	2	-3.833	-3.832	-3.831	-3.832	-3.832	-3.832	-3.833	-3.832	-3.836	-3.835	-3.835	-3.835	-3.829	-3.829	-3.831	-3.830	22.67	14.67	5.33	1.33	11.00	
	3	-3.361	-3.361	-3.362	-3.361	-3.360	-3.359	-3.359	-3.359	-3.326	-3.326	-3.324	-3.325	-3.354	-3.353	-3.353	-3.353	12.00	26.67	21.33	16.00	19.00	
12	1	-6.393	-6.393	-6.392	-6.393	-6.400	-6.402	-6.400	-6.401	-6.393	-6.392	-6.392	-6.392	-6.403	-6.404	-6.403	-6.403	4.00	12.00	9.33	17.33	10.67	11.78
	2	-3.830	-3.831	-3.830	-3.830	-3.830	-3.829	-3.830	-3.830	-3.830	-3.832	-3.833	-3.832	-3.824	-3.826	-3.825	-3.825	6.67	10.67	14.67	18.67	12.67	
	3	-3.359	-3.359	-3.359	-3.359	-3.355	-3.355	-3.355	-3.355	-3.323	-3.322	-3.322	-3.322	-3.352	-3.351	-3.350	-3.351	9.33	17.33	12.00	9.33	12.00	
13	1	-6.392	-6.391	-6.390	-6.391	-6.399	-6.398	-6.398	-6.398	-6.390	-6.390	-6.392	-6.391	-6.401	-6.401	-6.402	-6.401	6.67	9.33	6.67	8.00	7.67	12.44
	2	-3.825	-3.825	-3.824	-3.825	-3.827	-3.827	-3.827	-3.827	-3.827	-3.827	-3.827	-3.827	-3.821	-3.823	-3.823	-3.822	22.67	10.67	18.67	10.67	15.67	
	3	-3.358	-3.358	-3.358	-3.358	-3.354	-3.352	-3.353	-3.353	-3.318	-3.316	-3.316	-3.317	-3.348	-3.345	-3.344	-3.346	4.00	8.00	22.67	21.33	14.00	
14	1	-6.391	-6.391	-6.390	-6.391	-6.397	-6.397	-6.398	-6.397	-6.387	-6.386	-6.387	-6.387	-6.400	-6.399	-6.399	-6.399	1.33	4.00	16.00	8.00	7.33	9.44
	2	-3.821	-3.820	-3.820	-3.820	-3.824	-3.824	-3.824	-3.824	-3.824	-3.824	-3.824	-3.824	-3.821	-3.821	-3.821	-3.821	17.33	12.00	12.00	5.33	11.67	
	3	-3.354	-3.357	-3.354	-3.355	-3.351	-3.352	-3.350	-3.351	-3.316	-3.315	-3.313	-3.315	-3.343	-3.344	-3.343	-3.343	12.00	8.00	8.00	9.33	9.33	
15	1	-6.391	-6.389	-6.391	-6.390	-6.396	-6.396	-6.396	-6.396	-6.386	-6.386	-6.386	-6.386	-6.398	-6.398	-6.397	-6.398	1.33	5.33	2.67	6.67	4.00	4.78
	2	-3.821	-3.820	-3.819	-3.820	-3.823	-3.823	-3.822	-3.823	-3.824	-3.823	-3.820	-3.822	-3.819	-3.820	-3.820	-3.820	1.33	5.33	6.67	5.33	4.67	
	3	-3.354	-3.354	-3.354	-3.354	-3.351	-3.352	-3.350	-3.351	-3.313	-3.313	-3.312	-3.313	-3.342	-3.340	-3.340	-3.341	4.00	0.00	8.00	10.67	5.67	

Anexos

Mediciones por Días MP1																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
16	1	-6.388	-6.389	-6.387	-6.388	-6.393	-6.395	-6.395	-6.394	-6.384	-6.383	-6.383	-6.383	-6.397	-6.397	-6.399	-6.398	9.33	6.67	10.67	0.00	6.67	9.00
	2	-3.820	-3.819	-3.819	-3.819	-3.822	-3.818	-3.818	-3.819	-3.821	-3.820	-3.820	-3.820	-3.818	-3.818	-3.819	-3.818	2.67	13.33	8.00	5.33	7.33	
	3	-3.352	-3.352	-3.354	-3.353	-3.345	-3.345	-3.344	-3.345	-3.310	-3.311	-3.310	-3.310	-3.338	-3.338	-3.337	-3.338	5.33	25.33	9.33	12.00	13.00	
17	1	-6.385	-6.384	-6.384	-6.384	-6.393	-6.394	-6.392	-6.393	-6.384	-6.384	-6.383	-6.384	-6.392	-6.391	-6.390	-6.391	14.67	5.33	-1.33	26.67	11.33	6.33
	2	-3.819	-3.817	-3.818	-3.818	-3.820	-3.819	-3.819	-3.819	-3.821	-3.820	-3.820	-3.820	-3.817	-3.817	-3.817	-3.817	5.33	0.00	0.00	5.33	2.67	
	3	-3.349	-3.347	-3.346	-3.347	-3.345	-3.346	-3.344	-3.345	-3.310	-3.310	-3.311	-3.310	-3.337	-3.338	-3.338	-3.338	21.33	-1.33	0.00	0.00	5.00	
18	1	-6.383	-6.382	-6.382	-6.382	-6.391	-6.392	-6.390	-6.391	-6.383	-6.383	-6.382	-6.382	-6.392	-6.391	-6.390	-6.391	8.80	6.12	5.60	1.88	5.60	5.23
	2	-3.817	-3.816	-3.817	-3.817	-3.818	-3.817	-3.817	-3.818	-3.819	-3.818	-3.818	-3.819	-3.815	-3.815	-3.815	-3.815	5.87	6.04	6.80	6.80	6.38	
	3	-3.348	-3.346	-3.345	-3.346	-3.344	-3.345	-3.343	-3.344	-3.309	-3.309	-3.310	-3.309	-3.336	-3.337	-3.337	-3.337	4.40	2.44	4.80	3.20	3.71	
19	1	-6.381	-6.380	-6.380	-6.380	-6.390	-6.391	-6.389	-6.390	-6.381	-6.381	-6.380	-6.381	-6.391	-6.390	-6.389	-6.390	8.80	6.12	5.60	1.88	5.60	4.56
	2	-3.816	-3.814	-3.815	-3.815	-3.817	-3.816	-3.816	-3.816	-3.818	-3.817	-3.817	-3.817	-3.814	-3.814	-3.814	-3.814	5.87	6.04	6.80	6.80	6.38	
	3	-3.347	-3.345	-3.344	-3.345	-3.344	-3.345	-3.343	-3.344	-3.308	-3.308	-3.309	-3.308	-3.335	-3.336	-3.336	-3.336	4.40	2.44	4.80	3.20	3.71	
20	1	-6.378	-6.377	-6.377	-6.378	-6.388	-6.389	-6.387	-6.388	-6.380	-6.380	-6.379	-6.379	-6.391	-6.390	-6.389	-6.390	8.80	6.12	5.60	1.88	5.60	4.87
	2	-3.814	-3.813	-3.814	-3.814	-3.815	-3.814	-3.814	-3.815	-3.816	-3.815	-3.815	-3.815	-3.812	-3.812	-3.812	-3.812	5.87	6.04	6.80	6.80	6.38	
	3	-3.346	-3.344	-3.343	-3.344	-3.343	-3.344	-3.342	-3.343	-3.306	-3.306	-3.307	-3.307	-3.335	-3.336	-3.336	-3.335	4.40	2.44	4.80	3.20	3.71	
21	1	-6.376	-6.375	-6.375	-6.376	-6.387	-6.388	-6.386	-6.387	-6.378	-6.378	-6.377	-6.378	-6.390	-6.389	-6.388	-6.389	8.80	6.12	5.60	1.88	5.60	4.00
	2	-3.813	-3.811	-3.812	-3.812	-3.814	-3.813	-3.813	-3.813	-3.814	-3.813	-3.813	-3.814	-3.810	-3.810	-3.810	-3.810	5.87	6.04	6.80	6.80	6.38	
	3	-3.345	-3.343	-3.342	-3.343	-3.343	-3.344	-3.342	-3.343	-3.305	-3.305	-3.306	-3.306	-3.334	-3.335	-3.335	-3.334	4.40	2.44	4.80	3.20	3.71	
22	1	-6.374	-6.373	-6.373	-6.373	-6.385	-6.386	-6.384	-6.385	-6.377	-6.377	-6.376	-6.377	-6.390	-6.389	-6.388	-6.389	8.80	6.12	5.60	1.88	5.60	5.23
	2	-3.811	-3.810	-3.811	-3.811	-3.812	-3.811	-3.811	-3.812	-3.813	-3.812	-3.812	-3.812	-3.809	-3.809	-3.809	-3.809	5.87	6.04	6.80	6.80	6.38	
	3	-3.344	-3.342	-3.341	-3.342	-3.342	-3.343	-3.341	-3.342	-3.304	-3.304	-3.305	-3.304	-3.333	-3.334	-3.334	-3.334	4.40	2.44	4.80	3.20	3.71	
23	1	-6.374	-6.374	-6.374	-6.374	-6.385	-6.384	-6.387	-6.385	-6.377	-6.377	-6.377	-6.377	-6.391	-6.388	-6.387	-6.389	-2.67	0.07	-1.33	-0.07	-1.00	-0.81
	2	-3.811	-3.811	-3.811	-3.811	-3.812	-3.812	-3.811	-3.812	-3.811	-3.812	-3.812	-3.812	-3.809	-3.808	-3.809	-3.809	-1.33	0.47	0.67	-0.67	-0.22	
	3	-3.343	-3.342	-3.341	-3.342	-3.344	-3.343	-3.343	-3.343	-3.305	-3.304	-3.304	-3.304	-3.334	-3.333	-3.333	-3.333	-0.67	-5.53	0.00	1.33	-1.22	
24	1	-6.374	-6.374	-6.374	-6.374	-6.384	-6.383	-6.386	-6.384	-6.377	-6.377	-6.377	-6.377	-6.391	-6.388	-6.387	-6.388	2.00	4.00	2.00	2.00	2.50	2.43
	2	-3.811	-3.811	-3.811	-3.811	-3.811	-3.811	-3.810	-3.811	-3.811	-3.812	-3.812	-3.811	-3.809	-3.808	-3.809	-3.808	2.00	4.00	2.00	2.00	2.50	
	3	-3.342	-3.341	-3.340	-3.341	-3.344	-3.343	-3.343	-3.343	-3.305	-3.304	-3.304	-3.304	-3.334	-3.333	-3.333	-3.333	4.00	1.20	2.00	2.00	2.30	
25	1	-6.373	-6.373	-6.373	-6.373	-6.384	-6.383	-6.386	-6.384	-6.376	-6.376	-6.376	-6.376	-6.390	-6.387	-6.386	-6.388	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.67
	2	-3.810	-3.810	-3.810	-3.810	-3.810	-3.810	-3.809	-3.810	-3.810	-3.811	-3.811	-3.810	-3.808	-3.807	-3.808	-3.808	2.00	4.00	4.00	2.00	3.00	
	3	-3.341	-3.340	-3.339	-3.340	-3.343	-3.342	-3.342	-3.342	-3.304	-3.303	-3.303	-3.303	-3.333	-3.332	-3.332	-3.332	4.00	4.00	2.00	2.00	3.00	
26	1	-6.373	-6.373	-6.373	-6.373	-6.383	-6.382	-6.385	-6.383	-6.376	-6.376	-6.376	-6.376	-6.390	-6.387	-6.386	-6.387	2.00	4.00	2.00	2.00	2.50	2.64
	2	-3.810	-3.810	-3.810	-3.810	-3.809	-3.809	-3.808	-3.809	-3.809	-3.810	-3.810	-3.810	-3.808	-3.807	-3.808	-3.807	2.00	4.00	2.00	2.00	2.50	
	3	-3.340	-3.339	-3.338	-3.339	-3.343	-3.342	-3.342	-3.342	-3.302	-3.302	-3.302	-3.302	-3.333	-3.332	-3.332	-3.332	4.00	0.40	5.33	2.00	2.93	
27	1	-6.371	-6.372	-6.372	-6.372	-6.382	-6.383	-6.384	-6.383	-6.375	-6.375	-6.374	-6.375	-6.386	-6.384	-6.384	-6.385	3.33	-0.67	3.33	10.00	4.00	2.14
	2	-3.809	-3.808	-3.809	-3.809	-3.811	-3.807	-3.809	-3.809	-3.810	-3.807	-3.809	-3.809	-3.808	-3.806	-3.807	-3.807	3.33	-1.33	4.00	0.67	1.67	
	3	-3.339	-3.338	-3.339	-3.339	-3.343	-3.342	-3.342	-3.342	-3.301	-3.303	-3.302	-3.302	-3.332	-3.330	-3.331	-3.331	1.33	-1.60	0.00	3.33	0.77	
28	1	-6.372	-6.371	-6.372	-6.372	-6.382	-6.384	-6.384	-6.383	-6.373	-6.373	-6.374	-6.373	-6.383	-6.383	-6.384	-6.383	0.00	-1.33	5.33	5.33	2.33	3.44
	2	-3.807	-3.808	-3.808	-3.808	-3.812	-3.808	-3.808	-3.809	-3.809	-3.808	-3.804	-3.807	-3.804	-3.807	-3.806	-3.806	4.00	-1.33	6.67	5.33	3.67	
	3	-3.340	-3.339	-3.339	-3.339	-3.342	-3.339	-3.342	-3.341	-3.300	-3.299	-3.301	-3.300	-3.330	-3.330	-3.328	-3.329	-2.67	5.33	8.00	6.67	4.33	

Anexos

Mediciones por Días M1																						
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
1	1	-4.751	-4.752	-4.750	-4.751	-4.725	-4.723	-4.721	-4.723	-4.724	-4.722	-4.722	-4.723	-4.754	-4.752	-4.753	-4.753	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	-4.033	-4.032	-4.030	-4.032	-4.029	-4.024	-4.023	-4.025	-4.029	-4.026	-4.024	-4.026	-4.045	-4.043	-4.040	-4.043	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	-1.919	-1.913	-1.907	-1.913	-1.890	-1.892	-1.887	-1.890	-1.897	-1.890	-1.895	-1.894	-1.910	-1.906	-1.903	-1.906	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	-4.736	-4.735	-4.734	-4.735	-4.707	-4.707	-4.705	-4.706	-4.709	-4.707	-4.706	-4.707	-4.738	-4.738	-4.738	-4.738	64.00	66.67	61.33	60.00	63.00	
	2	-4.016	-4.013	-4.013	-4.014	-4.009	-4.009	-4.006	-4.008	-4.011	-4.010	-4.009	-4.010	-4.027	-4.026	-4.026	-4.026	70.67	69.33	65.33	65.33	67.67	
	3	-1.898	-1.895	-1.895	-1.896	-1.873	-1.871	-1.868	-1.871	-1.876	-1.874	-1.872	-1.874	-1.888	-1.885	-1.882	-1.885	68.00	76.00	80.00	85.33	77.33	69.33
3	1	-4.725	-4.723	-4.724	-4.724	-4.698	-4.697	-4.697	-4.697	-4.698	-4.698	-4.697	-4.698	-4.727	-4.725	-4.724	-4.725	44.00	36.00	38.67	50.67	42.33	
	2	-4.004	-4.003	-4.002	-4.003	-3.997	-3.996	-3.996	-3.996	-3.999	-4.000	-3.999	-3.999	-4.015	-4.014	-4.013	-4.014	44.00	46.67	42.67	49.33	45.67	
	3	-1.880	-1.877	-1.876	-1.878	-1.860	-1.859	-1.857	-1.859	-1.863	-1.862	-1.862	-1.862	-1.874	-1.872	-1.872	-1.873	73.33	48.00	46.67	49.33	54.33	47.44
4	1	-4.715	-4.715	-4.715	-4.715	-4.688	-4.687	-4.685	-4.687	-4.688	-4.687	-4.688	-4.688	-4.717	-4.716	-4.717	-4.717	36.00	42.67	40.00	34.67	38.33	
	2	-3.994	-3.994	-3.994	-3.994	-3.988	-3.987	-3.987	-3.987	-3.992	-3.991	-3.990	-3.991	-4.007	-4.006	-4.006	-4.006	36.00	36.00	33.33	30.67	34.00	
	3	-1.867	-1.865	-1.866	-1.866	-1.848	-1.847	-1.847	-1.847	-1.852	-1.851	-1.849	-1.851	-1.863	-1.862	-1.861	-1.862	46.67	45.33	46.67	42.67	45.33	39.22
5	1	-4.708	-4.707	-4.707	-4.707	-4.681	-4.681	-4.680	-4.681	-4.680	-4.680	-4.680	-4.680	-4.708	-4.708	-4.707	-4.708	30.67	24.00	30.67	36.00	30.33	
	2	-3.986	-3.985	-3.985	-3.985	-3.981	-3.980	-3.979	-3.980	-3.982	-3.983	-3.982	-3.982	-3.999	-3.999	-3.998	-3.999	34.67	29.33	34.67	30.67	32.33	
	3	-1.859	-1.856	-1.856	-1.857	-1.839	-1.839	-1.838	-1.839	-1.843	-1.842	-1.840	-1.842	-1.854	-1.851	-1.852	-1.852	36.00	34.67	36.00	38.67	36.33	33.00
6	1	-4.705	-4.704	-4.704	-4.704	-4.679	-4.675	-4.674	-4.676	-4.679	-4.676	-4.676	-4.677	-4.705	-4.703	-4.703	-4.704	12.00	18.67	12.00	16.00	14.67	
	2	-3.983	-3.982	-3.982	-3.982	-3.976	-3.974	-3.974	-3.975	-3.979	-3.976	-3.976	-3.977	-3.993	-3.992	-3.992	-3.992	12.00	21.33	21.33	25.33	20.00	
	3	-1.852	-1.851	-1.851	-1.851	-1.834	-1.832	-1.831	-1.832	-1.838	-1.837	-1.837	-1.837	-1.848	-1.848	-1.847	-1.848	22.67	25.33	17.33	18.67	21.00	18.56
7	1	-4.696	-4.696	-4.695	-4.696	-4.668	-4.668	-4.668	-4.668	-4.669	-4.667	-4.667	-4.668	-4.697	-4.697	-4.697	-4.697	34.67	32.00	37.33	26.67	32.67	
	2	-3.976	-3.974	-3.974	-3.975	-3.970	-3.969	-3.969	-3.969	-3.972	-3.973	-3.971	-3.972	-3.988	-3.987	-3.987	-3.987	30.67	21.33	20.00	20.00	23.00	
	3	-1.845	-1.844	-1.844	-1.844	-1.829	-1.829	-1.827	-1.828	-1.830	-1.829	-1.829	-1.829	-1.840	-1.840	-1.840	-1.840	28.00	16.00	32.00	30.67	26.67	27.44
8	1	-4.690	-4.690	-4.690	-4.690	-4.664	-4.662	-4.662	-4.663	-4.664	-4.664	-4.663	-4.664	-4.691	-4.690	-4.690	-4.690	22.67	21.33	16.00	26.67	21.67	
	2	-3.970	-3.970	-3.969	-3.970	-3.964	-3.963	-3.964	-3.964	-3.968	-3.966	-3.966	-3.967	-3.982	-3.981	-3.981	-3.981	20.00	22.67	21.33	24.00	22.00	
	3	-1.840	-1.840	-1.839	-1.840	-1.826	-1.824	-1.824	-1.825	-1.826	-1.825	-1.825	-1.825	-1.836	-1.836	-1.836	-1.836	18.67	14.67	16.00	16.00	16.33	20.00
9	1	-4.689	-4.687	-4.687	-4.688	-4.659	-4.658	-4.660	-4.659	-4.660	-4.661	-4.660	-4.660	-4.689	-4.688	-4.689	-4.689	9.33	14.67	13.33	6.67	11.00	
	2	-3.966	-3.966	-3.966	-3.966	-3.961	-3.960	-3.960	-3.960	-3.963	-3.963	-3.963	-3.963	-3.979	-3.978	-3.978	-3.978	14.67	13.33	14.67	12.00	13.67	
	3	-1.837	-1.837	-1.837	-1.837	-1.823	-1.821	-1.822	-1.822	-1.823	-1.822	-1.822	-1.822	-1.833	-1.832	-1.832	-1.832	10.67	10.67	12.00	14.67	12.00	12.22
10	1	-4.685	-4.685	-4.685	-4.685	-4.658	-4.659	-4.657	-4.658	-4.658	-4.658	-4.658	-4.658	-4.688	-4.688	-4.687	-4.688	10.67	4.00	9.33	4.00	7.00	
	2	-3.963	-3.963	-3.962	-3.963	-3.958	-3.958	-3.958	-3.958	-3.963	-3.961	-3.962	-3.962	-3.977	-3.976	-3.976	-3.976	13.33	9.33	4.00	8.00	8.67	
	3	-1.835	-1.834	-1.833	-1.834	-1.823	-1.821	-1.821	-1.822	-1.821	-1.820	-1.820	-1.820	-1.831	-1.830	-1.830	-1.830	12.00	1.33	8.00	8.00	7.33	7.67
11	1	-4.678	-4.677	-4.677	-4.677	-4.650	-4.649	-4.651	-4.650	-4.651	-4.651	-4.651	-4.651	-4.679	-4.679	-4.679	-4.679	30.67	32.00	28.00	34.67	31.33	
	2	-3.958	-3.956	-3.958	-3.957	-3.952	-3.951	-3.950	-3.951	-3.954	-3.953	-3.953	-3.953	-3.970	-3.968	-3.968	-3.969	21.33	28.00	34.67	30.67	28.67	
	3	-1.880	-1.826	-1.826	-1.844	-1.810	-1.811	-1.814	-1.812	-1.813	-1.811	-1.811	-1.812	-1.823	-1.823	-1.823	-1.823	-40.00	40.00	34.67	29.33	16.00	25.33
12	1	-4.677	-4.677	-4.677	-4.677	-4.651	-4.651	-4.649	-4.650	-4.649	-4.650	-4.649	-4.649	-4.678	-4.678	-4.677	-4.678	1.33	-1.33	6.67	5.33	3.00	
	2	-3.956	-3.956	-3.955	-3.956	-3.950	-3.950	-3.950	-3.950	-3.953	-3.953	-3.953	-3.953	-3.968	-3.967	-3.967	-3.967	6.67	4.00	1.33	5.33	4.33	
	3	-1.827	-1.826	-1.825	-1.826	-1.811	-1.810	-1.811	-1.811	-1.812	-1.811	-1.811	-1.811	-1.821	-1.822	-1.822	-1.822	72.00	4.00	1.33	5.33	20.67	9.33
13	1	-4.675	-4.675	-4.674	-4.675	-4.650	-4.650	-4.650	-4.650	-4.647	-4.648	-4.647	-4.647	-4.676	-4.675	-4.675	-4.675	9.33	1.33	8.00	9.33	7.00	
	2	-3.953	-3.952	-3.953	-3.953	-3.947	-3.947	-3.947	-3.947	-3.950	-3.950	-3.949	-3.950	-3.964	-3.964	-3.963	-3.964	12.00	12.00	13.33	14.67	13.00	
	3	-1.822	-1.821	-1.821	-1.821	-1.809	-1.808	-1.810	-1.809	-1.810	-1.809	-1.809	-1.809	-1.818	-1.817	-1.817	-1.817	18.67	6.67	8.00	17.33	12.67	10.89
14	1	-4.674	-4.674	-4.673	-4.674	-4.649	-4.648	-4.649	-4.649	-4.648	-4.647	-4.647	-4.647	-4.676	-4.675	-4.676	-4.676	4.00	5.33	0.00	-1.33	2.00	
	2	-3.953	-3.954	-3.953	-3.953	-3.946	-3.947	-3.948	-3.947	-3.949	-3.950	-3.950	-3.950	-3.964	-3.964	-3.962	-3.963	-2.67	0.00	0.00	1.33	-0.33	
	3	-1.822	-1.821	-1.820	-1.821	-1.810	-1.809	-1.806	-1.808	-1.810	-1.809	-1.808	-1.809	-1.818	-1.817	-1.817	-1.817	1.33	2.67	1.33	0.00	1.33	1.00
15	1	-4.673	-4.673	-4.672	-4.673	-4.648	-4.647	-4.648	-4.648	-4.647	-4.646	-4.646	-4.646	-4.675	-4.674	-4.675	-4.675	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.952	-3.953	-3.952	-3.952	-3.945	-3.946	-3.947	-3.946	-3.948	-3.949	-3.949	-3.949	-3.962	-3.962	-3.960	-3.961	4.00	4.00	4.00	8.00	5.00	
	3	-1.821	-1.820	-1.819	-1.820	-1.809	-1.808	-1.805	-1.807	-1.809	-1.808	-1.807	-1.808	-1.816	-1.815	-1.815	-1.815	4.00	4.00	4.00	8.00	5.00	4.67

Anexos

Mediciones por Días M1																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
16	1	-4.672	-4.672	-4.671	-4.672	-4.647	-4.646	-4.647	-4.647	-4.646	-4.645	-4.645	-4.645	-4.674	-4.673	-4.674	-4.674	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.951	-3.952	-3.951	-3.951	-3.944	-3.945	-3.946	-3.945	-3.947	-3.948	-3.948	-3.948	-3.961	-3.961	-3.959	-3.960	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.820	-1.819	-1.818	-1.819	-1.808	-1.807	-1.804	-1.806	-1.808	-1.807	-1.806	-1.807	-1.815	-1.814	-1.814	-1.814	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
17	1	-4.671	-4.671	-4.670	-4.671	-4.646	-4.645	-4.646	-4.646	-4.645	-4.644	-4.644	-4.644	-4.673	-4.672	-4.673	-4.673	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.950	-3.951	-3.950	-3.950	-3.943	-3.944	-3.945	-3.944	-3.946	-3.947	-3.947	-3.947	-3.960	-3.960	-3.958	-3.959	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.819	-1.818	-1.817	-1.818	-1.807	-1.806	-1.803	-1.805	-1.807	-1.806	-1.805	-1.806	-1.814	-1.813	-1.813	-1.813	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
18	1	-4.670	-4.670	-4.669	-4.670	-4.645	-4.644	-4.645	-4.645	-4.644	-4.643	-4.643	-4.643	-4.672	-4.671	-4.672	-4.672	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.949	-3.950	-3.949	-3.949	-3.942	-3.943	-3.944	-3.943	-3.945	-3.946	-3.946	-3.946	-3.959	-3.959	-3.957	-3.958	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.818	-1.817	-1.816	-1.817	-1.806	-1.805	-1.802	-1.804	-1.806	-1.805	-1.804	-1.805	-1.813	-1.812	-1.812	-1.812	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
19	1	-4.669	-4.669	-4.668	-4.669	-4.644	-4.643	-4.644	-4.644	-4.643	-4.642	-4.642	-4.642	-4.671	-4.670	-4.671	-4.671	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.948	-3.949	-3.948	-3.948	-3.941	-3.942	-3.943	-3.942	-3.944	-3.945	-3.945	-3.945	-3.958	-3.958	-3.956	-3.957	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.817	-1.816	-1.815	-1.816	-1.805	-1.804	-1.801	-1.803	-1.805	-1.804	-1.803	-1.804	-1.812	-1.811	-1.811	-1.811	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
20	1	-4.666	-4.666	-4.667	-4.666	-4.639	-4.640	-4.640	-4.640	-4.638	-4.638	-4.639	-4.638	-4.667	-4.667	-4.668	-4.667	9.33	16.00	16.00	13.33	13.67	
	2	-3.945	-3.945	-3.946	-3.945	-3.939	-3.939	-3.940	-3.939	-3.942	-3.942	-3.943	-3.942	-3.956	-3.956	-3.957	-3.956	12.00	10.67	9.33	4.00	9.00	
	3	-1.815	-1.815	-1.816	-1.815	-1.802	-1.801	-1.802	-1.802	-1.802	-1.802	-1.803	-1.802	-1.812	-1.812	-1.813	-1.812	2.67	6.67	6.67	-4.00	3.00	8.56
21	1	-4.665	-4.665	-4.666	-4.665	-4.638	-4.639	-4.639	-4.639	-4.637	-4.637	-4.638	-4.637	-4.666	-4.666	-4.667	-4.666	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.944	-3.944	-3.945	-3.944	-3.938	-3.938	-3.939	-3.938	-3.941	-3.941	-3.942	-3.941	-3.955	-3.955	-3.956	-3.955	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.814	-1.814	-1.815	-1.814	-1.801	-1.800	-1.801	-1.801	-1.801	-1.801	-1.802	-1.801	-1.811	-1.811	-1.812	-1.811	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
22	1	-4.664	-4.664	-4.665	-4.664	-4.637	-4.638	-4.638	-4.638	-4.636	-4.636	-4.637	-4.636	-4.665	-4.665	-4.666	-4.665	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.943	-3.943	-3.944	-3.943	-3.937	-3.937	-3.938	-3.937	-3.940	-3.940	-3.941	-3.940	-3.954	-3.954	-3.955	-3.954	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.813	-1.813	-1.814	-1.813	-1.800	-1.799	-1.800	-1.800	-1.800	-1.800	-1.801	-1.800	-1.810	-1.810	-1.811	-1.810	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
23	1	-4.663	-4.663	-4.664	-4.663	-4.636	-4.637	-4.637	-4.637	-4.635	-4.635	-4.636	-4.635	-4.664	-4.664	-4.665	-4.664	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-3.942	-3.942	-3.943	-3.942	-3.936	-3.936	-3.937	-3.936	-3.939	-3.939	-3.940	-3.939	-3.953	-3.953	-3.954	-3.953	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-1.812	-1.812	-1.813	-1.812	-1.799	-1.798	-1.799	-1.799	-1.799	-1.799	-1.800	-1.799	-1.809	-1.809	-1.810	-1.809	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
24	1	-4.662	-4.662	-4.663	-4.662	-4.633	-4.633	-4.634	-4.633	-4.636	-4.635	-4.636	-4.636	-4.666	-4.665	-4.665	-4.665	4.00	13.33	-1.33	-4.00	3.00	
	2	-3.939	-3.938	-3.939	-3.939	-3.935	-3.934	-3.935	-3.935	-3.939	-3.939	-3.940	-3.939	-3.952	-3.952	-3.954	-3.953	14.67	6.67	0.00	2.67	6.00	
	3	-1.810	-1.809	-1.811	-1.810	-1.796	-1.796	-1.797	-1.796	-1.798	-1.797	-1.798	-1.798	-1.808	-1.808	-1.808	-1.808	9.33	9.33	6.67	5.33	7.67	5.56
25	1	-4.661	-4.660	-4.661	-4.661	-4.631	-4.632	-4.632	-4.632	-4.634	-4.633	-4.633	-4.633	-4.664	-4.664	-4.663	-4.664	6.67	6.67	9.33	6.67	7.33	
	2	-3.938	-3.938	-3.938	-3.938	-3.933	-3.933	-3.933	-3.933	-3.936	-3.936	-3.936	-3.936	-3.950	-3.950	-3.950	-3.950	2.67	6.67	13.33	10.67	8.33	
	3	-1.810	-1.809	-1.809	-1.809	-1.794	-1.795	-1.795	-1.795	-1.796	-1.796	-1.797	-1.796	-1.805	-1.805	-1.804	-1.805	2.67	6.67	5.33	13.33	7.00	7.56
26	1	-4.660	-4.658	-4.658	-4.659	-4.633	-4.633	-4.633	-4.633	-4.632	-4.632	-4.632	-4.632	-4.662	-4.662	-4.662	-4.662	8.00	-5.33	5.33	6.67	3.67	
	2	-3.938	-3.938	-3.937	-3.938	-3.933	-3.933	-3.933	-3.933	-3.936	-3.938	-3.936	-3.937	-3.950	-3.950	-3.948	-3.949	1.33	0.00	-2.67	2.67	0.33	
	3	-1.808	-1.808	-1.807	-1.808	-1.794	-1.794	-1.796	-1.795	-1.795	-1.794	-1.794	-1.794	-1.803	-1.803	-1.803	-1.803	6.67	0.00	8.00	6.67	5.33	3.11
27	1	-4.659	-4.658	-4.659	-4.659	-4.631	-4.631	-4.631	-4.631	-4.631	-4.631	-4.631	-4.631	-4.660	-4.661	-4.660	-4.660	0.00	8.00	4.00	6.67	4.67	
	2	-3.938	-3.939	-3.938	-3.938	-3.932	-3.931	-3.932	-3.932	-3.936	-3.936	-3.935	-3.936	-3.949	-3.949	-3.949	-3.949	-2.67	5.33	4.00	1.33	2.00	
	3	-1.806	-1.804	-1.806	-1.805	-1.795	-1.794	-1.801	-1.797	-1.794	-1.794	-1.794	-1.794	-1.802	-1.802	-1.802	-1.802	9.33	-8.00	1.33	4.00	1.67	2.78
28	1	-4.657	-4.657	-4.658	-4.657	-4.629	-4.629	-4.630	-4.629	-4.631	-4.629	-4.630	-4.630	-4.658	-4.659	-4.659	-4.659	5.33	6.67	4.00	6.67	5.67	
	2	-3.937	-3.936	-3.936	-3.936	-3.931	-3.931	-3.929	-3.930	-3.936	-3.935	-3.934	-3.935	-3.949	-3.948	-3.949	-3.949	8.00	5.33	2.67	1.33	4.33	
	3	-1.803	-1.805	-1.804	-1.804	-1.795	-1.793	-1.794	-1.794	-1.794	-1.793	-1.792	-1.793	-1.801	-1.802	-1.802	-1.802	5.33	10.67	4.00	1.33	5.33	5.11

Anexos

Mediciones por Días M2																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
1	1	-8.538	-8.532	-8.530	-8.533	-8.501	-8.498	-8.496	-8.498	-8.514	-8.513	-8.511	-8.513	-8.532	-8.529	-8.527	-8.529	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	-6.477	-6.480	-6.478	-6.478	-6.467	-6.470	-6.469	-6.469	-6.491	-6.493	-6.491	-6.492	-6.488	-6.485	-6.483	-6.485	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	-6.586	-6.583	-6.583	-6.584	-6.559	-6.560	-6.562	-6.560	-6.597	-6.590	-6.594	-6.594	-6.596	-6.600	-6.594	-6.597	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	-8.521	-8.519	-8.517	-8.519	-8.500	-8.499	-8.500	-8.500	-8.503	-8.498	-8.497	-8.499	-8.518	-8.517	-8.516	-8.517	57.33	-5.33	53.33	49.33	38.67	
	2	-6.468	-6.468	-6.465	-6.467	-6.460	-6.458	-6.457	-6.458	-6.479	-6.479	-6.479	-6.479	-6.472	-6.471	-6.471	-6.471	45.33	41.33	50.67	56.00	48.33	
	3	-6.569	-6.568	-6.565	-6.567	-6.549	-6.547	-6.544	-6.547	-6.571	-6.570	-6.572	-6.571	-6.592	-6.593	-6.595	-6.593	66.67	54.67	90.67	13.33	56.33	47.78
3	1	-8.511	-8.508	-8.507	-8.509	-8.475	-8.472	-8.470	-8.472	-8.488	-8.488	-8.487	-8.488	-8.508	-8.509	-8.508	-8.508	41.33	109.33	46.67	34.67	58.00	
	2	-6.457	-6.454	-6.455	-6.455	-6.449	-6.447	-6.445	-6.447	-6.464	-6.467	-6.464	-6.465	-6.462	-6.461	-6.459	-6.461	46.67	45.33	56.00	42.67	47.67	
	3	-6.555	-6.552	-6.551	-6.553	-6.531	-6.529	-6.529	-6.530	-6.563	-6.564	-6.564	-6.564	-6.566	-6.565	-6.563	-6.565	58.67	68.00	29.33	114.67	67.67	57.78
4	1	-8.500	-8.500	-8.499	-8.500	-8.465	-8.464	-8.464	-8.464	-8.478	-8.479	-8.478	-8.478	-8.500	-8.499	-8.499	-8.499	36.00	32.00	37.33	36.00	35.33	
	2	-6.447	-6.447	-6.446	-6.447	-6.439	-6.439	-6.438	-6.439	-6.458	-6.457	-6.458	-6.458	-6.452	-6.451	-6.451	-6.451	34.67	33.33	29.33	37.33	33.67	
	3	-6.543	-6.541	-6.540	-6.541	-6.521	-6.521	-6.521	-6.521	-6.540	-6.541	-6.542	-6.541	-6.555	-6.553	-6.552	-6.553	45.33	34.67	90.67	45.33	54.00	41.00
5	1	-8.495	-8.494	-8.493	-8.494	-8.457	-8.458	-8.457	-8.457	-8.471	-8.472	-8.472	-8.472	-8.494	-8.492	-8.492	-8.493	22.67	28.00	26.67	26.67	26.00	
	2	-6.441	-6.441	-6.441	-6.441	-6.432	-6.432	-6.431	-6.432	-6.447	-6.446	-6.446	-6.446	-6.446	-6.445	-6.445	-6.445	22.67	28.00	45.33	24.00	30.00	
	3	-6.534	-6.532	-6.531	-6.532	-6.510	-6.508	-6.507	-6.508	-6.530	-6.527	-6.529	-6.529	-6.546	-6.544	-6.543	-6.544	36.00	50.67	49.33	36.00	43.00	33.00
6	1	-8.489	-8.488	-8.486	-8.488	-8.452	-8.451	-8.451	-8.451	-8.468	-8.466	-8.467	-8.467	-8.489	-8.487	-8.487	-8.488	25.33	24.00	18.67	20.00	22.00	
	2	-6.435	-6.434	-6.434	-6.434	-6.425	-6.425	-6.424	-6.425	-6.444	-6.444	-6.444	-6.444	-6.440	-6.439	-6.439	-6.439	26.67	28.00	9.33	24.00	22.00	
	3	-6.524	-6.521	-6.520	-6.522	-6.502	-6.498	-6.498	-6.499	-6.553	-6.551	-6.554	-6.553	-6.536	-6.533	-6.531	-6.533	42.67	36.00	-96.00	44.00	6.67	16.89
7	1	-8.479	-8.476	-8.476	-8.477	-8.441	-8.440	-8.440	-8.440	-8.457	-8.456	-8.457	-8.457	-8.477	-8.477	-8.477	-8.477	42.67	44.00	41.33	42.67	42.67	
	2	-6.425	-6.424	-6.422	-6.424	-6.414	-6.414	-6.413	-6.414	-6.434	-6.434	-6.435	-6.434	-6.428	-6.427	-6.428	-6.428	42.67	44.00	38.67	46.67	43.00	
	3	-6.507	-6.505	-6.505	-6.506	-6.486	-6.486	-6.487	-6.486	-6.529	-6.529	-6.528	-6.529	-6.525	-6.524	-6.526	-6.525	64.00	52.00	96.00	33.33	61.33	49.00
8	1	-8.474	-8.473	-8.473	-8.473	-8.440	-8.440	-8.438	-8.439	-8.454	-8.454	-8.454	-8.454	-8.473	-8.472	-8.472	-8.472	14.67	4.00	10.67	18.67	12.00	
	2	-6.422	-6.422	-6.422	-6.422	-6.411	-6.411	-6.411	-6.411	-6.431	-6.430	-6.430	-6.430	-6.425	-6.425	-6.424	-6.425	6.67	10.67	16.00	12.00	11.33	
	3	-6.506	-6.501	-6.500	-6.502	-6.482	-6.481	-6.481	-6.481	-6.527	-6.525	-6.522	-6.525	-6.524	-6.522	-6.520	-6.522	13.33	20.00	16.00	12.00	15.33	12.89
9	1	-8.470	-8.469	-8.469	-8.469	-8.437	-8.434	-8.434	-8.435	-8.450	-8.449	-8.448	-8.449	-8.469	-8.468	-8.468	-8.468	16.00	17.33	20.00	16.00	17.33	
	2	-6.417	-6.417	-6.416	-6.417	-6.408	-6.407	-6.407	-6.407	-6.427	-6.428	-6.426	-6.427	-6.421	-6.420	-6.420	-6.420	21.33	14.67	13.33	17.33	16.67	
	3	-6.495	-6.491	-6.490	-6.492	-6.472	-6.472	-6.474	-6.473	-6.491	-6.503	-6.497	-6.497	-6.522	-6.503	-6.502	-6.509	41.33	34.67	110.67	52.00	59.67	31.22
10	1	-8.469	-8.469	-8.469	-8.469	-8.434	-8.433	-8.433	-8.433	-8.449	-8.448	-8.448	-8.448	-8.469	-8.468	-8.467	-8.468	1.33	6.67	2.67	1.33	3.00	
	2	-6.417	-6.416	-6.416	-6.416	-6.407	-6.406	-6.406	-6.406	-6.428	-6.426	-6.426	-6.427	-6.421	-6.421	-6.420	-6.421	1.33	4.00	1.33	-1.33	1.33	
	3	-6.492	-6.490	-6.487	-6.490	-6.471	-6.473	-6.470	-6.471	-6.495	-6.493	-6.489	-6.492	-6.517	-6.502	-6.506	-6.508	9.33	5.33	18.67	2.67	9.00	4.44
11	1	-8.467	-8.467	-8.467	-8.467	-8.432	-8.431	-8.431	-8.431	-8.447	-8.446	-8.446	-8.446	-8.467	-8.466	-8.465	-8.466	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
	2	-6.415	-6.414	-6.414	-6.414	-6.405	-6.404	-6.404	-6.404	-6.426	-6.424	-6.424	-6.425	-6.419	-6.419	-6.418	-6.419	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
	3	-6.490	-6.488	-6.485	-6.488	-6.469	-6.471	-6.468	-6.469	-6.493	-6.491	-6.487	-6.490	-6.515	-6.500	-6.504	-6.506	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
12	1	-8.466	-8.466	-8.466	-8.466	-8.431	-8.430	-8.430	-8.430	-8.446	-8.445	-8.445	-8.445	-8.466	-8.465	-8.464	-8.465	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
	2	-6.414	-6.413	-6.413	-6.413	-6.404	-6.403	-6.403	-6.403	-6.425	-6.423	-6.423	-6.423	-6.418	-6.418	-6.417	-6.417	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
	3	-6.489	-6.487	-6.484	-6.486	-6.468	-6.470	-6.467	-6.468	-6.492	-6.490	-6.486	-6.489	-6.514	-6.499	-6.503	-6.505	6.00	4.40	6.00	6.00	5.60	5.87
13	1	-8.465	-8.465	-8.465	-8.465	-8.430	-8.429	-8.429	-8.429	-8.445	-8.444	-8.444	-8.444	-8.465	-8.464	-8.463	-8.464	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-6.413	-6.412	-6.412	-6.412	-6.403	-6.402	-6.402	-6.402	-6.420	-6.418	-6.418	-6.418	-6.417	-6.417	-6.416	-6.416	4.00	4.00	20.00	4.00	8.00	
	3	-6.488	-6.486	-6.483	-6.485	-6.467	-6.469	-6.466	-6.467	-6.490	-6.488	-6.484	-6.488	-6.513	-6.498	-6.502	-6.504	4.00	4.00	5.20	4.00	4.30	5.43
14	1	-8.464	-8.464	-8.464	-8.464	-8.429	-8.428	-8.428	-8.428	-8.444	-8.443	-8.443	-8.443	-8.464	-8.463	-8.462	-8.463	4.00	3.60	3.60	4.00	3.80	
	2	-6.412	-6.411	-6.411	-6.411	-6.402	-6.401	-6.401	-6.401	-6.419	-6.417	-6.417	-6.417	-6.416	-6.416	-6.415	-6.415	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-6.487	-6.485	-6.482	-6.484	-6.466	-6.468	-6.465	-6.466	-6.489	-6.487	-6.483	-6.487	-6.512	-6.497	-6.501	-6.503	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.93
15	1	-8.463	-8.463	-8.463	-8.463	-8.428	-8.427	-8.427	-8.427	-8.443	-8.442	-8.442	-8.442	-8.463	-8.462	-8.461	-8.462	4.00	3.60	3.60	3.60	3.70	
	2	-6.411	-6.410	-6.410	-6.410	-6.401	-6.400	-6.400	-6.400	-6.418	-6.416	-6.416	-6.416	-6.415	-6.415	-6.414	-6.414	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-6.486	-6.484	-6.481	-6.483	-6.465	-6.467	-6.464	-6.465	-6.488	-6.486	-6.482	-6.486	-6.511	-6.496	-6.500	-6.502	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.90

Anexos

Mediciones por Días M2																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
16	1	-8.463	-8.462	-8.462	-8.462	-8.426	-8.427	-8.428	-8.427	-8.442	-8.440	-8.440	-8.441	-8.462	-8.462	-8.461	-8.462	0.67	0.13	5.47	-0.27	1.50	
	2	-6.410	-6.406	-6.410	-6.409	-6.399	-6.398	-6.399	-6.399	-6.418	-6.419	-6.419	-6.419	-6.412	-6.412	-6.413	-6.412	4.67	4.67	-10.00	7.33	1.67	
	3	-6.479	-6.479	-6.478	-6.479	-6.457	-6.456	-6.456	-6.456	-6.479	-6.479	-6.478	-6.479	-6.497	-6.495	-6.494	-6.495	18.00	35.60	27.47	26.00	26.77	9.98
17	1	-8.462	-8.461	-8.461	-8.461	-8.425	-8.426	-8.427	-8.426	-8.441	-8.439	-8.439	-8.440	-8.461	-8.461	-8.460	-8.461	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-6.409	-6.405	-6.409	-6.408	-6.398	-6.397	-6.398	-6.398	-6.417	-6.418	-6.418	-6.418	-6.411	-6.411	-6.412	-6.411	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-6.478	-6.478	-6.477	-6.478	-6.456	-6.455	-6.455	-6.455	-6.478	-6.478	-6.477	-6.478	-6.496	-6.494	-6.493	-6.494	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
18	1	-8.461	-8.460	-8.460	-8.460	-8.424	-8.425	-8.426	-8.425	-8.440	-8.438	-8.438	-8.439	-8.460	-8.460	-8.459	-8.460	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-6.408	-6.404	-6.408	-6.407	-6.397	-6.396	-6.397	-6.397	-6.416	-6.417	-6.417	-6.417	-6.410	-6.410	-6.411	-6.410	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-6.477	-6.477	-6.476	-6.477	-6.455	-6.454	-6.454	-6.454	-6.477	-6.477	-6.476	-6.477	-6.495	-6.493	-6.492	-6.493	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
19	1	-8.460	-8.459	-8.459	-8.459	-8.423	-8.424	-8.425	-8.424	-8.439	-8.437	-8.437	-8.438	-8.459	-8.459	-8.458	-8.459	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-6.407	-6.403	-6.407	-6.406	-6.396	-6.395	-6.396	-6.396	-6.415	-6.416	-6.416	-6.416	-6.409	-6.409	-6.410	-6.409	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	3	-6.476	-6.476	-6.475	-6.476	-6.454	-6.453	-6.453	-6.453	-6.476	-6.476	-6.475	-6.476	-6.494	-6.492	-6.491	-6.492	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
20	1	-8.457	-8.457	-8.458	-8.457	-8.423	-8.422	-8.424	-8.423	-8.436	-8.434	-8.436	-8.435	-8.457	-8.457	-8.458	-8.457	8.00	4.00	9.33	5.33	6.67	
	2	-6.404	-6.403	-6.405	-6.404	-6.393	-6.393	-6.395	-6.394	-6.412	-6.415	-6.415	-6.414	-6.408	-6.408	-6.410	-6.409	6.67	8.00	6.67	2.67	6.00	
	3	-6.472	-6.473	-6.473	-6.473	-6.457	-6.452	-6.451	-6.453	-6.474	-6.473	-6.474	-6.474	-6.493	-6.496	-6.493	-6.494	12.00	0.00	8.00	-6.67	3.33	5.33
21	1	-8.456	-8.456	-8.455	-8.456	-8.422	-8.420	-8.420	-8.421	-8.434	-8.434	-8.434	-8.434	-8.456	-8.455	-8.456	-8.456	6.67	9.33	5.33	6.67	7.00	
	2	-6.402	-6.402	-6.402	-6.402	-6.392	-6.392	-6.392	-6.392	-6.413	-6.409	-6.411	-6.411	-6.406	-6.406	-6.405	-6.406	8.00	6.67	12.00	12.00	9.67	
	3	-6.470	-6.466	-6.470	-6.469	-6.454	-6.450	-6.452	-6.452	-6.467	-6.467	-6.465	-6.466	-6.496	-6.496	-6.493	-6.495	16.00	5.33	29.33	-4.00	11.67	9.44
22	1	-8.453	-8.454	-8.454	-8.454	-8.422	-8.423	-8.420	-8.422	-8.432	-8.432	-8.431	-8.432	-8.454	-8.455	-8.453	-8.454	8.00	-4.00	9.33	6.67	5.00	
	2	-6.401	-6.401	-6.400	-6.401	-6.390	-6.389	-6.390	-6.390	-6.411	-6.411	-6.411	-6.411	-6.404	-6.403	-6.404	-6.404	5.20	9.33	0.00	8.00	5.63	
	3	-6.465	-6.465	-6.465	-6.465	-6.444	-6.441	-6.441	-6.442	-6.468	-6.468	-6.468	-6.468	-6.497	-6.493	-6.493	-6.494	14.67	40.00	-6.67	2.67	12.67	7.77
23	1	-8.452	-8.452	-8.453	-8.452	-8.423	-8.432	-8.435	-8.430	-8.434	-8.434	-8.429	-8.432	-8.452	-8.451	-8.450	-8.451	5.33	-33.33	-2.67	12.00	-4.67	
	2	-6.396	-6.397	-6.394	-6.396	-6.395	-6.388	-6.384	-6.389	-6.407	-6.409	-6.407	-6.408	-6.400	-6.399	-6.398	-6.399	20.13	2.13	13.33	18.67	13.57	
	3	-6.458	-6.457	-6.456	-6.457	-6.439	-6.438	-6.437	-6.438	-6.456	-6.456	-6.456	-6.456	-6.490	-6.486	-6.490	-6.489	32.00	16.00	48.00	22.67	29.67	12.86
24	1	-8.447	-8.447	-8.447	-8.447	-8.411	-8.409	-8.409	-8.410	-8.426	-8.426	-8.425	-8.426	-8.448	-8.447	-8.445	-8.447	21.33	81.33	26.67	17.33	36.67	
	2	-6.393	-6.392	-6.392	-6.392	-6.383	-6.382	-6.382	-6.382	-6.398	-6.404	-6.399	-6.400	-6.396	-6.396	-6.396	-6.396	13.33	27.20	29.33	12.00	20.47	
	3	-6.455	-6.455	-6.451	-6.454	-6.435	-6.435	-6.432	-6.434	-6.450	-6.450	-6.451	-6.450	-6.482	-6.485	-6.485	-6.484	13.33	16.00	22.67	18.67	17.67	24.93
25	1	-8.451	-8.451	-8.451	-8.451	-8.415	-8.413	-8.413	-8.413	-8.430	-8.430	-8.429	-8.430	-8.452	-8.451	-8.449	-8.451	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	
	2	-6.397	-6.396	-6.396	-6.396	-6.387	-6.386	-6.386	-6.386	-6.403	-6.409	-6.404	-6.405	-6.401	-6.401	-6.401	-6.401	-14.00	16.40	16.40	16.40	16.40	
	3	-6.454	-6.454	-6.450	-6.452	-6.434	-6.434	-6.431	-6.433	-6.449	-6.449	-6.450	-6.449	-6.481	-6.484	-6.484	-6.483	6.00	-6.00	-6.00	-6.00	-6.00	8.13
26	1	-8.454	-8.454	-8.454	-8.454	-8.418	-8.416	-8.416	-8.417	-8.435	-8.435	-8.434	-8.434	-8.456	-8.455	-8.453	-8.455	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	
	2	-6.400	-6.399	-6.399	-6.399	-6.391	-6.390	-6.390	-6.391	-6.407	-6.413	-6.408	-6.409	-6.405	-6.405	-6.405	-6.405	14.00	16.40	16.40	16.40	16.40	
	3	-6.452	-6.452	-6.448	-6.451	-6.432	-6.432	-6.429	-6.431	-6.447	-6.447	-6.448	-6.447	-6.479	-6.482	-6.482	-6.481	-6.00	-6.00	-6.00	-6.00	-6.00	8.13
27	1	-8.454	-8.453	-8.454	-8.454	-8.417	-8.416	-8.418	-8.417	-8.434	-8.436	-8.433	-8.434	-8.456	-8.454	-8.454	-8.455	-1.33	-4.00	0.00	8.00	1.33	
	2	-6.400	-6.399	-6.398	-6.399	-6.391	-6.391	-6.389	-6.390	-6.411	-6.410	-6.408	-6.410	-6.409	-6.404	-6.406	-6.406	-1.33	-0.80	3.20	-4.80	-0.80	
	3	-6.458	-6.456	-6.456	-6.457	-6.437	-6.437	-6.437	-6.437	-6.459	-6.452	-6.451	-6.454	-6.484	-6.480	-6.480	-6.481	24.00	20.00	20.00	32.00	24.00	8.18
28	1	-8.452	-8.450	-8.452	-8.451	-8.415	-8.415	-8.417	-8.416	-8.433	-8.435	-8.432	-8.433	-8.455	-8.453	-8.446	-8.451	9.33	5.33	4.00	13.33	8.00	
	2	-6.397	-6.398	-6.395	-6.397	-6.390	-6.382	-6.381	-6.384	-6.410	-6.402	-6.407	-6.406	-6.408	-6.403	-6.405	-6.405	9.33	24.00	13.33	4.00	12.67	
	3	-6.457	-6.455	-6.455	-6.456	-6.437	-6.436	-6.436	-6.436	-6.458	-6.451	-6.450	-6.453	-6.478	-6.479	-6.479	-6.479	4.00	2.67	4.00	10.67	5.33	8.67

Anexos

Mediciones por Días M3																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
1	1	-6.172	-6.171	-6.169	-6.171	-6.146	-6.142	-6.135	-6.141	-6.157	-6.153	-6.151	-6.154	-6.175	-6.172	-6.170	-6.172	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	2	-5.370	-5.366	-5.363	-5.366	-5.343	-5.345	-5.343	-5.344	-5.336	-5.333	-5.333	-5.334	-5.406	-5.403	-5.404	-5.404	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	-7.125	-7.129	-7.124	-7.126	-7.128	-7.126	-7.126	-7.127	-7.126	-7.122	-7.124	-7.124	-7.117	-7.111	-7.115	-7.114	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	-6.155	-6.156	-6.154	-6.155	-6.127	-6.126	-6.124	-6.126	-6.140	-6.139	-6.137	-6.139	-6.160	-6.160	-6.158	-6.159	62.67	61.33	60.00	52.00	59.00	
	2	-5.350	-5.350	-5.349	-5.350	-5.327	-5.325	-5.327	-5.326	-5.316	-5.316	-5.314	-5.315	-5.366	-5.365	-5.365	-5.365	66.67	69.33	74.67	156.00	91.67	
	3	-7.035	-7.030	-7.033	-7.033	-7.015	-7.013	-7.012	-7.013	-7.029	-7.027	-7.026	-7.027	-7.035	-7.031	-7.031	-7.032	373.33	453.33	386.67	328.00	385.33	178.67
3	1	-6.150	-6.149	-6.149	-6.149	-6.120	-6.118	-6.118	-6.119	-6.132	-6.132	-6.132	-6.132	-6.152	-6.150	-6.149	-6.150	22.67	28.00	26.67	36.00	28.33	
	2	-5.343	-5.342	-5.342	-5.342	-5.321	-5.321	-5.319	-5.320	-5.309	-5.309	-5.309	-5.309	-5.343	-5.341	-5.341	-5.342	29.33	24.00	25.33	94.67	43.33	
	3	-7.022	-7.021	-7.021	-7.021	-7.003	-7.004	-7.003	-7.003	-7.019	-7.018	-7.017	-7.018	-7.023	-7.020	-7.020	-7.021	45.33	40.00	37.33	45.33	42.00	37.89
4	1	-6.142	-6.140	-6.140	-6.141	-6.111	-6.111	-6.110	-6.111	-6.125	-6.124	-6.125	-6.125	-6.146	-6.145	-6.144	-6.145	34.67	32.00	29.33	21.33	29.33	
	2	-5.335	-5.334	-5.334	-5.334	-5.314	-5.314	-5.314	-5.314	-5.302	-5.302	-5.301	-5.302	-5.358	-5.357	-5.357	-5.357	32.00	25.33	29.33	-62.67	6.00	
	3	-7.016	-7.015	-7.016	-7.016	-6.996	-6.996	-6.996	-6.996	-7.012	-7.012	-7.012	-7.012	-7.017	-7.016	-7.016	-7.016	22.67	29.33	24.00	18.67	23.67	19.67
5	1	-6.136	-6.134	-6.134	-6.135	-6.107	-6.106	-6.105	-6.106	-6.114	-6.113	-6.113	-6.113	-6.136	-6.137	-6.135	-6.136	24.00	18.67	45.33	36.00	31.00	
	2	-5.328	-5.329	-5.327	-5.328	-5.309	-5.306	-5.304	-5.306	-5.296	-5.298	-5.295	-5.296	-5.349	-5.343	-5.345	-5.346	25.33	30.67	21.33	46.67	31.00	
	3	-7.011	-7.009	-7.009	-7.010	-6.990	-6.989	-6.988	-6.989	-7.007	-7.006	-7.005	-7.006	-7.011	-7.012	-7.009	-7.011	24.00	28.00	24.00	22.67	24.67	28.89
6	1	-6.125	-6.123	-6.122	-6.123	-6.092	-6.090	-6.092	-6.091	-6.104	-6.104	-6.106	-6.105	-6.127	-6.126	-6.126	-6.126	45.33	58.67	34.67	38.67	44.33	
	2	-5.317	-5.316	-5.315	-5.316	-5.312	-5.313	-5.312	-5.312	-5.299	-5.297	-5.298	-5.298	-5.341	-5.343	-5.343	-5.342	48.00	-24.00	-6.67	13.33	7.67	
	3	-6.998	-7.001	-7.003	-7.001	-6.979	-6.979	-6.978	-6.979	-6.995	-6.994	-6.994	-6.994	-7.001	-7.004	-7.001	-7.002	36.00	41.33	46.67	34.67	39.67	30.56
7	1	-6.119	-6.118	-6.118	-6.118	-6.089	-6.090	-6.088	-6.089	-6.097	-6.097	-6.096	-6.097	-6.118	-6.118	-6.117	-6.118	20.00	9.33	32.00	34.67	24.00	
	2	-5.311	-5.310	-5.315	-5.312	-5.299	-5.298	-5.298	-5.298	-5.276	-5.276	-5.276	-5.276	-5.340	-5.342	-5.338	-5.340	16.00	56.00	88.00	9.33	42.33	
	3	-6.994	-6.992	-6.992	-6.993	-6.972	-6.971	-6.971	-6.971	-6.990	-6.989	-6.988	-6.989	-6.994	-6.995	-6.993	-6.994	32.00	29.33	21.33	32.00	28.67	31.67
8	1	-6.113	-6.111	-6.110	-6.111	-6.082	-6.080	-6.079	-6.080	-6.089	-6.089	-6.089	-6.089	-6.112	-6.110	-6.110	-6.111	28.00	34.67	30.67	28.00	30.33	
	2	-5.307	-5.305	-5.306	-5.306	-5.289	-5.288	-5.291	-5.289	-5.270	-5.276	-5.269	-5.272	-5.350	-5.335	-5.330	-5.338	24.00	36.00	17.33	6.67	21.00	
	3	-6.985	-6.985	-6.986	-6.985	-6.965	-6.965	-6.964	-6.965	-6.982	-6.982	-6.982	-6.982	-6.985	-6.986	-6.986	-6.986	29.33	26.67	28.00	33.33	29.33	26.89
9	1	-6.110	-6.107	-6.107	-6.108	-6.078	-6.078	-6.078	-6.078	-6.089	-6.088	-6.088	-6.088	-6.111	-6.110	-6.109	-6.110	13.33	9.33	2.67	2.67	7.00	
	2	-5.306	-5.304	-5.304	-5.305	-5.284	-5.286	-5.283	-5.284	-5.269	-5.268	-5.267	-5.268	-5.334	-5.332	-5.333	-5.333	5.33	20.00	14.67	21.33	15.33	
	3	-6.984	-6.984	-6.984	-6.984	-6.965	-6.964	-6.963	-6.964	-6.981	-6.980	-6.980	-6.980	-6.986	-6.985	-6.985	-6.985	5.33	2.67	6.67	1.33	4.00	8.78
10	1	-6.108	-6.105	-6.105	-6.106	-6.076	-6.076	-6.076	-6.076	-6.087	-6.086	-6.086	-6.086	-6.109	-6.108	-6.107	-6.108	6.80	6.80	8.00	8.00	7.40	
	2	-5.304	-5.302	-5.302	-5.303	-5.282	-5.284	-5.281	-5.283	-5.267	-5.266	-5.265	-5.266	-5.332	-5.330	-5.331	-5.331	6.80	6.80	8.00	8.00	7.40	
	3	-6.982	-6.982	-6.982	-6.982	-6.963	-6.962	-6.961	-6.962	-6.979	-6.978	-6.978	-6.978	-6.984	-6.983	-6.983	-6.983	6.80	6.80	8.00	8.00	7.40	7.40
11	1	-6.107	-6.104	-6.104	-6.105	-6.075	-6.075	-6.075	-6.075	-6.086	-6.085	-6.085	-6.085	-6.108	-6.107	-6.106	-6.107	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
	2	-5.303	-5.301	-5.301	-5.301	-5.281	-5.283	-5.280	-5.281	-5.266	-5.265	-5.264	-5.265	-5.331	-5.329	-5.330	-5.330	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
	3	-6.981	-6.981	-6.981	-6.981	-6.962	-6.961	-6.960	-6.961	-6.978	-6.977	-6.977	-6.977	-6.983	-6.982	-6.982	-6.982	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
12	1	-6.105	-6.102	-6.102	-6.103	-6.074	-6.074	-6.074	-6.074	-6.085	-6.084	-6.084	-6.084	-6.107	-6.106	-6.105	-6.106	6.00	4.80	4.00	4.00	4.70	
	2	-5.302	-5.300	-5.300	-5.300	-5.280	-5.282	-5.279	-5.280	-5.264	-5.263	-5.262	-5.263	-5.329	-5.327	-5.328	-5.328	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	
	3	-6.980	-6.980	-6.980	-6.980	-6.961	-6.960	-6.959	-6.960	-6.977	-6.976	-6.976	-6.976	-6.982	-6.981	-6.981	-6.981	4.80	4.40	4.00	4.00	4.30	4.60
13	1	-6.104	-6.101	-6.101	-6.102	-6.073	-6.073	-6.073	-6.073	-6.083	-6.082	-6.082	-6.083	-6.105	-6.104	-6.103	-6.104	4.80	4.00	4.80	4.80	4.60	
	2	-5.300	-5.298	-5.298	-5.299	-5.279	-5.281	-5.278	-5.279	-5.263	-5.262	-5.261	-5.262	-5.328	-5.326	-5.327	-5.327	4.80	4.00	4.00	4.00	4.20	
	3	-6.979	-6.979	-6.979	-6.979	-6.960	-6.959	-6.958	-6.959	-6.975	-6.974	-6.974	-6.975	-6.980	-6.979	-6.979	-6.980	4.40	4.00	4.40	4.40	4.30	4.37
14	1	-6.099	-6.096	-6.098	-6.098	-6.072	-6.072	-6.072	-6.072	-6.082	-6.081	-6.081	-6.081	-6.104	-6.103	-6.102	-6.103	17.73	4.00	4.80	4.80	7.83	
	2	-5.290	-5.287	-5.288	-5.288	-5.278	-5.280	-5.277	-5.278	-5.262	-5.261	-5.260	-5.261	-5.327	-5.325	-5.326	-5.326	42.93	4.00	4.00	4.00	13.73	
	3	-6.971	-6.970	-6.970	-6.970	-6.959	-6.958	-6.957	-6.958	-6.974	-6.973	-6.973	-6.974	-6.979	-6.978	-6.978	-6.979	32.67	4.00	4.40	4.40	11.37	4.08
15	1	-6.099	-6.096	-6.098	-6.098	-6.066	-6.064	-6.064	-6.065	-6.079	-6.079	-6.079	-6.079	-6.099	-6.099	-6.100	-6.099	0.00	27.73	9.73	15.07	13.13	
	2	-5.290	-5.287	-5.288	-5.288	-5.273	-5.273	-5.274	-5.273	-5.255	-5.257	-5.256	-5.256	-5.297	-5.297	-5.297	-5.297	0.00	18.40	21.20	117.20	39.20	
	3	-6.971	-6.970	-6.970	-6.970	-6.952	-6.951	-6.952	-6.952	-6.968	-6.969	-6.968	-6.968	-6.975	-6.975	-6.973	-6.974	0.00	24.13	21.20	17.20	15.63	22.66

Anexos

Mediciones por Días M3																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
16	1	-6.097	-6.094	-6.096	-6.096	-6.064	-6.062	-6.062	-6.063	-6.077	-6.077	-6.077	-6.077	-6.097	-6.097	-6.098	-6.097	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
	2	-5.287	-5.284	-5.285	-5.285	-5.270	-5.270	-5.271	-5.270	-5.252	-5.254	-5.253	-5.253	-5.294	-5.294	-5.294	-5.294	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	
	3	-6.969	-6.968	-6.968	-6.968	-6.950	-6.949	-6.950	-6.950	-6.966	-6.967	-6.966	-6.966	-6.973	-6.973	-6.971	-6.972	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	6.64
17	1	-6.095	-6.092	-6.094	-6.094	-6.062	-6.060	-6.060	-6.061	-6.075	-6.075	-6.075	-6.075	-6.095	-6.095	-6.096	-6.095	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
	2	-5.284	-5.281	-5.282	-5.282	-5.267	-5.267	-5.268	-5.267	-5.249	-5.251	-5.250	-5.250	-5.291	-5.291	-5.291	-5.291	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
	3	-6.967	-6.966	-6.966	-6.966	-6.948	-6.947	-6.948	-6.948	-6.964	-6.965	-6.964	-6.964	-6.971	-6.971	-6.969	-6.970	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.33
18	1	-6.094	-6.091	-6.093	-6.093	-6.061	-6.059	-6.059	-6.060	-6.074	-6.074	-6.074	-6.074	-6.094	-6.094	-6.095	-6.094	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	2	-5.281	-5.278	-5.279	-5.279	-5.264	-5.264	-5.265	-5.264	-5.246	-5.248	-5.247	-5.247	-5.288	-5.288	-5.288	-5.288	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	
	3	-6.966	-6.965	-6.965	-6.965	-6.947	-6.946	-6.947	-6.947	-6.963	-6.964	-6.963	-6.963	-6.970	-6.970	-6.968	-6.969	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.16
19	1	-6.093	-6.093	-6.092	-6.093	-6.060	-6.060	-6.060	-6.060	-6.072	-6.072	-6.072	-6.072	-6.093	-6.092	-6.093	-6.093	0.00	-1.33	8.00	6.67	3.33	
	2	-5.285	-5.282	-5.284	-5.284	-5.262	-5.262	-5.262	-5.262	-5.247	-5.248	-5.248	-5.248	-5.286	-5.285	-5.286	-5.286	-19.33	7.33	-4.67	7.33	-2.33	
	3	-6.963	-6.965	-6.966	-6.965	-6.944	-6.944	-6.945	-6.944	-6.960	-6.962	-6.963	-6.962	-6.972	-6.969	-6.971	-6.971	2.67	9.33	6.67	-5.33	3.33	1.44
20	1	-6.089	-6.089	-6.090	-6.089	-6.057	-6.058	-6.058	-6.058	-6.069	-6.069	-6.069	-6.069	-6.091	-6.090	-6.090	-6.090	13.33	9.33	12.00	9.33	11.00	
	2	-5.285	-5.284	-5.283	-5.284	-5.262	-5.263	-5.263	-5.263	-5.244	-5.243	-5.243	-5.243	-5.292	-5.290	-5.290	-5.291	-1.33	-2.67	17.33	-20.00	-1.67	
	3	-6.963	-6.963	-6.963	-6.963	-6.943	-6.942	-6.942	-6.942	-6.958	-6.957	-6.957	-6.957	-6.967	-6.968	-6.968	-6.968	6.67	8.00	17.33	12.00	11.00	6.78
21	1	-6.087	-6.086	-6.086	-6.086	-6.055	-6.054	-6.054	-6.054	-6.068	-6.069	-6.069	-6.069	-6.090	-6.090	-6.090	-6.090	12.00	13.33	1.33	1.33	7.00	
	2	-5.283	-5.283	-5.286	-5.284	-5.261	-5.258	-5.258	-5.259	-5.241	-5.241	-5.243	-5.242	-5.304	-5.304	-5.304	-5.304	0.00	14.67	6.67	-53.33	-8.00	
	3	-6.960	-6.960	-6.960	-6.960	-6.941	-6.941	-6.941	-6.941	-6.957	-6.957	-6.957	-6.957	-6.966	-6.968	-6.967	-6.967	12.00	5.33	1.33	2.67	5.33	1.44
22	1	-6.083	-6.082	-6.081	-6.082	-6.050	-6.050	-6.050	-6.050	-6.062	-6.061	-6.064	-6.062	-6.080	-6.085	-6.085	-6.083	17.33	17.33	25.33	26.67	21.67	
	2	-5.283	-5.284	-5.283	-5.283	-5.253	-5.254	-5.254	-5.254	-5.240	-5.237	-5.239	-5.239	-5.308	-5.306	-5.304	-5.306	2.67	21.33	12.00	-8.00	7.00	
	3	-6.958	-6.964	-6.959	-6.960	-6.937	-6.937	-6.937	-6.937	-6.954	-6.955	-6.953	-6.954	-6.962	-6.967	-6.967	-6.965	-1.33	16.00	12.00	6.67	8.33	12.33
23	1	-6.078	-6.076	-6.076	-6.077	-6.047	-6.046	-6.045	-6.046	-6.061	-6.061	-6.061	-6.061	-6.081	-6.081	-6.081	-6.081	21.33	16.00	5.33	9.33	13.00	
	2	-5.279	-5.276	-5.276	-5.277	-5.248	-5.249	-5.249	-5.249	-5.238	-5.234	-5.233	-5.235	-5.298	-5.297	-5.298	-5.298	25.33	20.00	14.67	33.33	23.33	
	3	-6.953	-6.952	-6.951	-6.952	-6.933	-6.933	-6.933	-6.933	-6.951	-6.951	-6.949	-6.950	-6.961	-6.960	-6.958	-6.960	33.33	16.00	14.67	22.67	21.67	19.33
24	1	-6.076	-6.074	-6.074	-6.074	-6.045	-6.044	-6.043	-6.044	-6.059	-6.059	-6.059	-6.059	-6.079	-6.079	-6.079	-6.079	-9.20	9.20	9.20	9.20	4.60	
	2	-5.277	-5.274	-5.274	-5.275	-5.246	-5.247	-5.247	-5.246	-5.236	-5.232	-5.231	-5.233	-5.296	-5.295	-5.296	-5.295	-9.20	9.20	9.20	9.20	4.60	
	3	-6.951	-6.950	-6.949	-6.950	-6.931	-6.931	-6.931	-6.931	-6.949	-6.949	-6.947	-6.948	-6.959	-6.958	-6.956	-6.957	-9.20	9.20	9.20	9.20	4.60	4.60
25	1	-6.073	-6.071	-6.071	-6.072	-6.042	-6.041	-6.040	-6.041	-6.056	-6.056	-6.056	-6.056	-6.076	-6.076	-6.076	-6.076	-9.20	9.20	9.20	9.20	4.60	
	2	-5.274	-5.271	-5.271	-5.272	-5.243	-5.244	-5.244	-5.244	-5.233	-5.229	-5.228	-5.230	-5.293	-5.292	-5.293	-5.293	-9.20	9.20	9.20	9.20	4.60	
	3	-6.948	-6.960	-6.961	-6.956	-6.928	-6.928	-6.928	-6.928	-6.946	-6.946	-6.944	-6.946	-6.956	-6.955	-6.953	-6.955	27.07	9.20	9.20	9.20	13.67	7.62
26	1	-6.071	-6.069	-6.069	-6.070	-6.040	-6.039	-6.038	-6.039	-6.054	-6.054	-6.054	-6.054	-6.074	-6.074	-6.074	-6.074	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	
	2	-5.272	-5.269	-5.269	-5.270	-5.241	-5.242	-5.242	-5.242	-5.231	-5.227	-5.226	-5.228	-5.291	-5.290	-5.291	-5.291	9.20	9.20	9.20	9.20	9.20	
	3	-6.960	-6.960	-6.961	-6.960	-6.941	-6.941	-6.940	-6.941	-6.958	-6.958	-6.959	-6.958	-6.965	-6.965	-6.964	-6.965	15.47	7.98	8.32	9.23	9.67	9.36
27	1	-6.069	-6.067	-6.067	-6.067	-6.044	-6.044	-6.045	-6.044	-6.058	-6.058	-6.057	-6.058	-6.079	-6.079	-6.078	-6.079	9.20	15.60	19.60	27.60	20.93	
	2	-5.266	-5.266	-5.265	-5.266	-5.247	-5.248	-5.246	-5.247	-5.231	-5.230	-5.230	-5.230	-5.297	-5.299	-5.298	-5.298	17.73	-20.93	-8.93	-28.93	-10.27	
	3	-6.952	-6.951	-6.951	-6.951	-6.931	-6.929	-6.929	-6.930	-6.946	-6.947	-6.948	-6.947	-6.957	-6.957	-6.956	-6.957	16.00	12.00	28.00	12.56	17.14	9.27
28	1	-6.070	-6.068	-6.068	-6.069	-6.040	-6.039	-6.039	-6.039	-6.051	-6.050	-6.049	-6.050	-6.073	-6.071	-6.071	-6.072	-4.80	20.00	11.00	19.00	11.30	
	2	-5.267	-5.263	-5.260	-5.263	-5.244	-5.244	-5.240	-5.243	-5.226	-5.226	-5.224	-5.225	-5.299	-5.296	-5.298	-5.298	9.33	17.33	20.00	1.33	12.00	
	3	-6.945	-6.946	-6.945	-6.945	-6.925	-6.925	-6.925	-6.925	-6.942	-6.942	-6.942	-6.942	-6.952	-6.951	-6.952	-6.952	18.00	18.67	20.00	16.00	13.00	12.10

Anexos

Mediciones por Días M4																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
1	1	-5.398	-5.393	-5.398	-5.396	-5.421	-5.419	-5.415	-5.418	-5.378	-5.374	-5.370	-5.374	-5.382	-5.378	-5.374	-5.378	0	0	0	0	0	0
	2	-4.846	-4.842	-4.842	-4.843	-4.846	-4.833	-4.840	-4.840	-4.849	-4.845	-4.844	-4.846	-4.843	-4.840	-4.839	-4.841	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	3	-4.947	-4.934	-4.942	-4.941	-4.962	-4.962	-4.966	-4.963	-4.931	-4.925	-4.923	-4.926	-4.915	-4.910	-4.908	-4.911	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	1	-5.382	-5.380	-5.378	-5.380	-5.402	-5.402	-5.402	-5.402	-5.367	-5.367	-5.365	-5.366	-5.367	-5.366	-5.364	-5.366	65.33	65.33	30.67	49.33	52.67	59.22
	2	-4.832	-4.830	-4.830	-4.831	-4.828	-4.828	-4.827	-4.828	-4.836	-4.835	-4.833	-4.835	-4.831	-4.830	-4.829	-4.830	50.67	48.00	45.33	42.67	46.67	
	3	-4.915	-4.915	-4.910	-4.913	-4.937	-4.938	-4.936	-4.937	-4.914	-4.914	-4.910	-4.913	-4.902	-4.899	-4.900	-4.900	110.67	105.33	54.67	42.67	78.33	
3	1	-5.374	-5.371	-5.370	-5.372	-5.395	-5.394	-5.394	-5.394	-5.353	-5.354	-5.354	-5.354	-5.356	-5.355	-5.354	-5.355	33.33	30.67	50.67	42.67	39.33	48.56
	2	-4.823	-4.821	-4.820	-4.821	-4.820	-4.818	-4.819	-4.819	-4.826	-4.826	-4.825	-4.826	-4.823	-4.822	-4.821	-4.822	37.33	34.67	36.00	32.00	35.00	
	3	-4.904	-4.900	-4.900	-4.901	-4.900	-4.902	-4.903	-4.902	-4.903	-4.902	-4.900	-4.902	-4.889	-4.887	-4.886	-4.887	48.00	141.33	44.00	52.00	71.33	
4	1	-5.369	-5.367	-5.365	-5.367	-5.390	-5.390	-5.388	-5.389	-5.350	-5.348	-5.347	-5.348	-5.354	-5.352	-5.352	-5.353	18.67	20.00	21.33	9.33	17.33	12.00
	2	-4.820	-4.818	-4.818	-4.819	-4.816	-4.814	-4.815	-4.815	-4.824	-4.823	-4.822	-4.823	-4.822	-4.821	-4.820	-4.821	10.67	16.00	10.67	4.00	10.33	
	3	-4.902	-4.901	-4.900	-4.901	-4.898	-4.899	-4.898	-4.898	-4.899	-4.898	-4.897	-4.898	-4.887	-4.886	-4.886	-4.886	1.33	13.33	14.67	4.00	8.33	
5	1	-5.360	-5.358	-5.356	-5.358	-5.386	-5.386	-5.384	-5.385	-5.347	-5.345	-5.344	-5.345	-5.350	-5.348	-5.348	-5.348	34.80	17.20	12.40	17.20	20.40	17.77
	2	-4.816	-4.814	-4.814	-4.815	-4.812	-4.810	-4.811	-4.811	-4.820	-4.819	-4.818	-4.819	-4.818	-4.817	-4.816	-4.817	16.40	17.20	17.20	16.40	16.80	
	3	-4.898	-4.897	-4.896	-4.897	-4.894	-4.895	-4.894	-4.894	-4.895	-4.894	-4.893	-4.894	-4.883	-4.882	-4.882	-4.883	16.40	16.40	17.20	14.40	16.10	
6	1	-5.357	-5.355	-5.353	-5.355	-5.383	-5.383	-5.381	-5.382	-5.344	-5.342	-5.341	-5.342	-5.347	-5.345	-5.345	-5.345	11.88	11.88	11.88	11.48	11.78	11.81
	2	-4.813	-4.811	-4.811	-4.812	-4.809	-4.807	-4.808	-4.808	-4.817	-4.816	-4.815	-4.816	-4.815	-4.814	-4.813	-4.814	11.88	11.88	11.88	11.88	11.88	
	3	-4.895	-4.894	-4.893	-4.894	-4.891	-4.892	-4.891	-4.891	-4.892	-4.891	-4.890	-4.891	-4.881	-4.880	-4.880	-4.880	11.88	11.88	11.88	11.48	11.78	
7	1	-5.355	-5.353	-5.351	-5.353	-5.381	-5.381	-5.379	-5.380	-5.342	-5.340	-5.339	-5.340	-5.345	-5.343	-5.343	-5.343	8.00	8.00	9.20	8.00	8.30	8.40
	2	-4.811	-4.809	-4.809	-4.810	-4.807	-4.805	-4.806	-4.806	-4.814	-4.813	-4.812	-4.813	-4.813	-4.812	-4.811	-4.812	8.00	8.00	9.20	9.20	8.60	
	3	-4.893	-4.892	-4.891	-4.892	-4.889	-4.890	-4.889	-4.889	-4.889	-4.888	-4.887	-4.888	-4.879	-4.878	-4.878	-4.878	8.00	8.00	9.20	8.00	8.30	
8	1	-5.353	-5.351	-5.349	-5.351	-5.378	-5.378	-5.376	-5.378	-5.339	-5.337	-5.336	-5.337	-5.342	-5.340	-5.340	-5.341	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
	2	-4.808	-4.806	-4.806	-4.807	-4.804	-4.802	-4.803	-4.803	-4.812	-4.811	-4.810	-4.811	-4.810	-4.809	-4.808	-4.809	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
	3	-4.890	-4.889	-4.888	-4.889	-4.886	-4.887	-4.886	-4.887	-4.887	-4.886	-4.885	-4.886	-4.876	-4.875	-4.875	-4.875	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	
9	1	-5.350	-5.348	-5.346	-5.348	-5.368	-5.366	-5.366	-5.367	-5.337	-5.335	-5.334	-5.335	-5.330	-5.328	-5.328	-5.329	10.00	43.59	10.00	49.32	28.23	9.85
	2	-4.806	-4.804	-4.804	-4.805	-4.796	-4.795	-4.794	-4.795	-4.809	-4.808	-4.807	-4.808	-4.800	-4.799	-4.799	-4.799	10.00	32.92	10.00	39.19	23.03	
	3	-4.888	-4.887	-4.886	-4.887	-4.879	-4.882	-4.876	-4.879	-4.876	-4.876	-4.875	-4.876	-4.861	-4.861	-4.860	-4.861	10.00	31.05	41.05	58.79	35.22	
10	1	-5.346	-5.344	-5.344	-5.345	-5.368	-5.366	-5.366	-5.367	-5.337	-5.337	-5.336	-5.337	-5.330	-5.328	-5.328	-5.329	14.65	0.00	-6.81	0.00	1.96	9.42
	2	-4.799	-4.798	-4.798	-4.798	-4.796	-4.795	-4.794	-4.795	-4.801	-4.801	-4.801	-4.801	-4.800	-4.799	-4.799	-4.799	25.05	0.00	29.72	0.00	13.69	
	3	-4.875	-4.875	-4.873	-4.874	-4.879	-4.882	-4.876	-4.879	-4.876	-4.876	-4.875	-4.876	-4.861	-4.861	-4.860	-4.861	50.39	0.00	0.00	0.00	12.60	
11	1	-5.342	-5.340	-5.340	-5.341	-5.364	-5.362	-5.362	-5.363	-5.332	-5.332	-5.331	-5.332	-5.325	-5.323	-5.323	-5.324	16.00	16.00	20.00	20.00	18.00	8.34
	2	-4.795	-4.794	-4.794	-4.794	-4.790	-4.789	-4.788	-4.789	-4.797	-4.797	-4.797	-4.797	-4.796	-4.795	-4.795	-4.795	16.00	24.00	16.00	16.00	18.00	
	3	-4.871	-4.871	-4.869	-4.870	-4.877	-4.880	-4.874	-4.877	-4.871	-4.871	-4.870	-4.871	-4.858	-4.858	-4.857	-4.858	16.00	8.00	20.00	12.00	14.00	
12	1	-5.338	-5.336	-5.336	-5.337	-5.360	-5.358	-5.358	-5.359	-5.328	-5.328	-5.327	-5.328	-5.320	-5.318	-5.318	-5.319	16.00	16.00	16.00	20.00	17.00	7.92
	2	-4.791	-4.790	-4.790	-4.790	-4.784	-4.783	-4.782	-4.783	-4.795	-4.795	-4.795	-4.795	-4.792	-4.791	-4.791	-4.791	16.00	24.00	8.00	16.00	16.00	
	3	-4.869	-4.869	-4.867	-4.868	-4.875	-4.878	-4.872	-4.875	-4.868	-4.868	-4.867	-4.868	-4.855	-4.855	-4.854	-4.855	8.00	8.00	12.00	12.00	10.00	
13	1	-5.334	-5.332	-5.332	-5.333	-5.356	-5.354	-5.354	-5.355	-5.324	-5.324	-5.323	-5.324	-5.317	-5.315	-5.315	-5.316	16.00	16.00	16.00	12.00	15.00	6.65
	2	-4.787	-4.786	-4.786	-4.786	-4.781	-4.780	-4.779	-4.780	-4.793	-4.793	-4.793	-4.793	-4.788	-4.789	-4.789	-4.789	16.00	12.00	8.00	10.67	11.67	
	3	-4.868	-4.868	-4.866	-4.867	-4.873	-4.876	-4.870	-4.873	-4.864	-4.864	-4.863	-4.864	-4.852	-4.852	-4.851	-4.852	4.00	8.00	16.00	12.00	10.00	
14	1	-5.332	-5.331	-5.333	-5.332	-5.354	-5.353	-5.354	-5.354	-5.323	-5.325	-5.324	-5.324	-5.315	-5.315	-5.315	-5.315	2.67	4.00	-1.33	2.67	2.00	4.44
	2	-4.785	-4.785	-4.785	-4.785	-4.776	-4.777	-4.777	-4.777	-4.790	-4.790	-4.789	-4.790	-4.788	-4.789	-4.789	-4.789	5.33	13.33	13.33	0.00	8.00	
	3	-4.869	-4.868	-4.865	-4.867	-4.870	-4.873	-4.872	-4.872	-4.862	-4.860	-4.863	-4.862	-4.850	-4.852	-4.853	-4.852	0.00	5.33	8.00	0.00	3.33	
15	1	-5.326	-5.325	-5.329	-5.327	-5.351	-5.350	-5.351	-5.351	-5.351	-5.351	-5.350	-5.351	-5.311	-5.311	-5.311	-5.311	21.33	12.00	-106.67	16.00	-14.33	2.56
	2	-4.783	-4.783	-4.784	-4.783	-4.775	-4.775	-4.775	-4.775	-4.786	-4.786	-4.785	-4.786	-4.785	-4.785	-4.786	-4.785	6.67	6.67	16.00	13.33	10.67	
	3	-4.867	-4.863	-4.867	-4.866	-4.870	-4.871	-4.869	-4.870	-4.862	-4.860	-4.859	-4.860	-4.847	-4.844	-4.844	-4.845	6.67	6.67	5.33	26.67	11.33	

Anexos

Mediciones por Días M5																							
Días		Lecturas Equipo (mm)																ΔL (mm/mm) x 10-6					ΔL (mm/mm) x10-6
		Cara A				Cara B				Cara C				Cara D									
	Prob.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	1	2	3	Prom.	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Prom.	
1	1	-5,713	-5,712	-5,697	-5,707	-5,688	-5,683	-5,678	-5,683	-5,707	-5,699	-5,705	-5,704	-5,773	-5,703	-5,713	-5,730	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	-6,447	-6,440	-6,435	-6,441	-6,440	-6,435	-6,431	-6,435	-6,434	-6,430	-6,427	-6,430	-6,451	-6,447	-6,444	-6,447	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	3	-7,014	-7,002	-6,994	-7,003	-7,031	-7,012	-7,017	-7,020	-7,021	-7,009	-6,998	-7,009	-7,009	-6,999	-6,993	-7,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	1	-5,686	-5,684	-5,684	-5,685	-5,671	-5,670	-5,668	-5,670	-5,681	-5,690	-5,699	-5,690	-5,700	-5,701	-5,705	-5,702	90,67	53,33	54,67	110,67	77,33	93,56
	2	-6,424	-6,422	-6,424	-6,423	-6,421	-6,418	-6,419	-6,419	-6,418	-6,417	-6,415	-6,417	-6,437	-6,435	-6,435	-6,436	69,33	64,00	54,67	46,67	58,67	
	3	-6,990	-6,993	-6,988	-6,990	-6,947	-6,947	-6,945	-6,946	-6,974	-6,978	-6,971	-6,974	-6,979	-6,978	-6,975	-6,977	52,00	294,67	140,00	92,00	144,67	
3	1	-5,681	-5,679	-5,678	-5,679	-5,663	-5,663	-5,669	-5,665	-5,666	-5,664	-5,664	-5,665	-5,699	-5,700	-5,696	-5,698	21,33	18,67	101,33	14,67	39,00	29,00
	2	-6,417	-6,417	-6,415	-6,416	-6,415	-6,413	-6,412	-6,413	-6,412	-6,412	-6,410	-6,411	-6,434	-6,433	-6,426	-6,431	28,00	24,00	21,33	18,67	23,00	
	3	-6,990	-6,986	-6,984	-6,987	-6,946	-6,945	-6,942	-6,944	-6,961	-6,961	-6,964	-6,962	-6,974	-6,972	-6,965	-6,970	14,67	8,00	49,33	28,00	25,00	
4	1	-5,675	-5,673	-5,672	-5,673	-5,660	-5,660	-5,666	-5,662	-5,662	-5,660	-5,660	-5,661	-5,692	-5,693	-5,689	-5,691	24,00	12,00	16,00	28,00	20,00	22,67
	2	-6,413	-6,413	-6,411	-6,412	-6,410	-6,408	-6,407	-6,408	-6,406	-6,406	-6,404	-6,405	-6,430	-6,429	-6,422	-6,427	16,00	20,00	24,00	16,00	19,00	
	3	-6,980	-6,976	-6,974	-6,977	-6,939	-6,938	-6,935	-6,937	-6,955	-6,955	-6,958	-6,956	-6,968	-6,966	-6,959	-6,964	40,00	28,00	24,00	24,00	29,00	
5	1	-5,670	-5,668	-5,667	-5,668	-5,655	-5,655	-5,661	-5,657	-5,658	-5,656	-5,656	-5,657	-5,687	-5,688	-5,684	-5,686	20,00	20,00	16,00	20,00	19,00	20,33
	2	-6,408	-6,408	-6,406	-6,407	-6,405	-6,403	-6,402	-6,403	-6,400	-6,400	-6,398	-6,399	-6,425	-6,424	-6,417	-6,422	20,00	20,00	24,00	20,00	21,00	
	3	-6,975	-6,971	-6,969	-6,972	-6,934	-6,933	-6,930	-6,932	-6,949	-6,949	-6,952	-6,950	-6,963	-6,961	-6,954	-6,959	20,00	20,00	24,00	20,00	21,00	
6	1	-5,664	-5,662	-5,661	-5,662	-5,652	-5,652	-5,658	-5,654	-5,654	-5,652	-5,652	-5,653	-5,680	-5,681	-5,677	-5,679	24,00	12,00	16,00	28,00	20,00	22,67
	2	-6,404	-6,404	-6,402	-6,403	-6,400	-6,398	-6,397	-6,398	-6,394	-6,394	-6,392	-6,393	-6,421	-6,420	-6,413	-6,418	16,00	20,00	24,00	16,00	19,00	
	3	-6,965	-6,961	-6,959	-6,962	-6,927	-6,926	-6,923	-6,925	-6,943	-6,943	-6,946	-6,944	-6,957	-6,955	-6,948	-6,953	40,00	28,00	24,00	24,00	29,00	
7	1	-5,658	-5,656	-5,655	-5,656	-5,649	-5,649	-5,655	-5,651	-5,651	-5,649	-5,649	-5,650	-5,677	-5,678	-5,674	-5,676	24,00	12,00	12,00	12,00	15,00	15,67
	2	-6,400	-6,400	-6,398	-6,399	-6,397	-6,395	-6,394	-6,395	-6,391	-6,391	-6,389	-6,390	-6,418	-6,417	-6,410	-6,415	16,00	12,00	12,00	12,00	13,00	
	3	-6,955	-6,951	-6,949	-6,952	-6,924	-6,923	-6,920	-6,922	-6,940	-6,940	-6,943	-6,941	-6,954	-6,952	-6,945	-6,950	40,00	12,00	12,00	12,00	19,00	
8	1	-5,652	-5,650	-5,649	-5,650	-5,646	-5,646	-5,652	-5,648	-5,649	-5,647	-5,647	-5,648	-5,667	-5,665	-5,663	-5,665	24,00	12,00	8,00	45,33	22,33	13,14
	2	-6,396	-6,396	-6,394	-6,395	-6,392	-6,390	-6,389	-6,390	-6,389	-6,389	-6,387	-6,388	-6,407	-6,404	-6,404	-6,405	16,00	20,00	8,00	40,00	21,00	
	3	-6,945	-6,941	-6,939	-6,942	-6,917	-6,916	-6,913	-6,915	-6,938	-6,938	-6,941	-6,939	-6,936	-6,935	-6,934	-6,935	40,00	28,00	8,00	61,33	34,33	
9	1	-5,651	-5,650	-5,649	-5,650	-5,633	-5,634	-5,633	-5,633	-5,648	-5,640	-5,645	-5,644	-5,667	-5,665	-5,663	-5,665	1,33	58,67	13,33	0,00	18,33	9,78
	2	-6,395	-6,391	-6,393	-6,393	-6,387	-6,386	-6,386	-6,386	-6,384	-6,383	-6,382	-6,383	-6,407	-6,404	-6,404	-6,405	9,33	16,00	21,33	0,00	11,67	
	3	-6,937	-6,934	-6,935	-6,935	-6,927	-6,927	-6,928	-6,927	-6,932	-6,938	-6,932	-6,934	-6,936	-6,935	-6,934	-6,935	25,33	-48,00	20,00	0,00	-0,67	
10	1	-5,648	-5,647	-5,646	-5,647	-5,631	-5,632	-5,631	-5,631	-5,646	-5,638	-5,643	-5,642	-5,664	-5,662	-5,660	-5,662	12,00	8,00	8,00	12,00	10,00	15,67
	2	-6,390	-6,386	-6,388	-6,388	-6,382	-6,381	-6,381	-6,381	-6,379	-6,378	-6,377	-6,378	-6,400	-6,397	-6,397	-6,398	20,00	20,00	20,00	28,00	22,00	
	3	-6,935	-6,932	-6,933	-6,933	-6,925	-6,925	-6,926	-6,925	-6,925	-6,931	-6,925	-6,927	-6,932	-6,931	-6,930	-6,931	8,00	8,00	28,00	16,00	15,00	
11	1	-5,645	-5,644	-5,643	-5,644	-5,629	-5,630	-5,629	-5,629	-5,644	-5,636	-5,641	-5,640	-5,661	-5,659	-5,657	-5,659	12,00	8,00	8,00	12,00	10,00	13,83
	2	-6,385	-6,381	-6,383	-6,383	-6,377	-6,376	-6,376	-6,376	-6,374	-6,373	-6,372	-6,373	-6,393	-6,390	-6,390	-6,391	20,00	20,00	20,00	28,00	22,00	
	3	-6,933	-6,930	-6,931	-6,931	-6,923	-6,923	-6,924	-6,923	-6,918	-6,924	-6,918	-6,920	-6,928	-6,927	-6,926	-6,927	8,00	8,00	28,00	16,00	15,00	
12	1	-5,644	-5,643	-5,642	-5,643	-5,627	-5,628	-5,627	-5,627	-5,642	-5,634	-5,639	-5,638	-5,671	-5,666	-5,668	-5,668	4,00	8,00	8,00	-37,33	-4,33	7,89
	2	-6,380	-6,376	-6,378	-6,378	-6,375	-6,374	-6,374	-6,374	-6,371	-6,370	-6,369	-6,370	-6,388	-6,385	-6,385	-6,386	20,00	8,00	12,00	20,00	15,00	
	3	-6,931	-6,928	-6,929	-6,929	-6,921	-6,921	-6,922	-6,921	-6,911	-6,917	-6,911	-6,913	-6,926	-6,925	-6,924	-6,925	8,00	8,00	28,00	8,00	13,00	
13	1	-5,644	-5,638	-5,640	-5,641	-5,628	-5,627	-5,627	-5,627	-5,638	-5,636	-5,637	-5,637	-5,671	-5,666	-5,668	-5,668	9,33	0,00	5,33	0,00	3,67	5,22
	2	-6,378	-6,376	-6,376	-6,377	-6,373	-6,372	-6,372	-6,372	-6,370	-6,368	-6,369	-6,369	-6,387	-6,380	-6,384	-6,384	5,33	8,00	4,00	9,33	6,67	
	3	-6,926	-6,931	-6,928	-6,928	-6,919	-6,921	-6,920	-6,920	-6,913	-6,912	-6,913	-6,913	-6,921	-6,923	-6,923	-6,922	4,00	5,33	1,33	10,67	5,33	
14	1	-5,631	-5,630	-5,630	-5,630	-5,619	-5,619	-5,614	-5,617	-5,637	-5,633	-5,636	-5,635	-5,677	-5,639	-5,661	-5,659	41,33	40,00	6,67	37,33	31,33	16,00
	2	-6,374	-6,374	-6,376	-6,375	-6,369	-6,369	-6,370	-6,369	-6,366	-6,365	-6,366	-6,366	-6,380	-6,379	-6,379	-6,379	8,00	12,00	13,33	17,33	12,67	
	3	-6,926	-6,930	-6,929	-6,928	-6,931	-6,931	-6,929	-6,930	-6,906	-6,908	-6,909	-6,908	-6,912	-6,914	-6,913	-6,913	0,00	-41,33	20,00	37,33	4,00	
15	1	-5,630	-5,628	-5,628	-5,629	-5,615	-5,611	-5,610	-5,612	-5,624	-5,619	-5,631	-5,625	-5,639	-5,641	-5,635	-5,638	6,67	21,33	42,67	82,67	38,33	11,00
	2	-6,373	-6,372	-6,370	-6,372	-6,368	-6,366	-6,366	-6,367	-6,368	-6,366	-6,366	-6,367	-6,380	-6,380	-6,378	-6,379	12,00	10,67	-4,00	0,00	4,67	
	3	-6,922	-6,927	-6,924	-6,924	-6,927	-6,927	-6,924	-6,926	-6,927	-6,927	-6,924	-6,926	-6,915	-6,914	-6,910	-6,913	16,00	17,33	-73,33	0,00	-10,00	

ANEXO IV Mediciones en el Canal de retracción

Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5	Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5
1	14,95	49,74	19,84	16,78	46,39	25	886,23	1394,96	1427,00	1463,03	1030,05
2	65,00	180,05	44,86	39,67	128,17	26	883,79	1394,04	1425,78	1464,56	1030,07
3	115,36	552,67	127,87	153,50	356,14	27	881,04	1397,40	1427,00	1465,17	1028,84
4	194,70	1344,91	344,24	462,04	700,99	28	879,52	1394,35	1427,92	1467,00	1030,37
5	340,88	1362,92	653,08	843,81	876,16	29	881,04	1391,91	1427,92	1466,69	1029,76
6	492,25	1374,51	975,04	1159,06	971,07	30	880,43	1384,58	1427,92	1467,61	1028,84
7	610,96	1381,53	1191,41	1328,43	1018,07	31	881,35	1382,14	1428,22	1467,91	1028,23
8	696,11	1383,36	1316,83	1402,89	1033,33	32	891,72	1378,17	1426,39	1465,78	1027,62
9	761,11	1383,67	1379,09	1428,83	1035,81	33	902,10	1376,34	1426,39	1465,78	1031,28
10	811,46	1381,53	1402,59	1440,12	1035,85	34	906,07	1372,07	1427,61	1465,78	1038,30
11	843,20	1379,70	1412,66	1442,87	1032,10	35	903,02	1370,54	1425,48	1465,17	1038,30
12	864,56	1384,89	1417,85	1442,57	1029,67	36	900,88	1366,58	1427,00	1465,47	1041,05
13	871,89	1384,28	1416,02	1445,62	1029,70	37	902,71	1365,97	1424,26	1465,17	1041,05
14	872,50	1384,89	1416,93	1444,09	1029,73	38	899,96	1365,36	1424,56	1463,95	1043,49
15	873,11	1381,23	1415,10	1443,48	1029,75	39	902,71	1362,30	1424,26	1463,64	1041,96
16	870,36	1383,36	1412,66	1441,96	1029,78	40	902,10	1363,22	1425,48	1462,73	1041,66
17	871,28	1380,31	1413,88	1438,90	1029,81	41	903,32	1364,75	1423,03	1463,34	1045,62
18	870,06	1393,13	1412,66	1445,92	1029,83	42	909,12	1363,83	1425,78	1462,73	1044,40
19	868,84	1396,79	1412,96	1452,33	1029,86	43	913,39	1364,44	1426,09	1463,95	1041,66
20	873,11	1398,01	1414,18	1455,99	1029,89	44	913,09	1364,75	1428,22	1467,00	1041,35
21	879,21	1403,20	1413,57	1452,96	1029,91	45	913,08	1364,75	1429,44	1467,61	1041,05
22	878,91	1403,81	1416,93	1452,96	1029,94	46	916,44	1365,05	1429,14	1468,22	1038,30
23	880,43	1400,15	1419,98	1455,40	1029,96	47	916,44	1366,88	1430,66	1468,83	1037,69
24	887,45	1397,71	1424,87	1462,11	1030,02	48	920,41	1365,97	1435,55	1471,58	1038,91

Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5	Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5
49	921,93	1364,14	1436,77	1474,63	1035,25	73	942,07	1377,56	1454,77	1494,77	1050,81
50	924,37	1360,17	1437,38	1475,54	1035,55	74	942,68	1380,00	1455,08	1494,46	1047,46
51	924,98	1359,56	1439,21	1476,76	1033,72	75	939,33	1378,48	1454,16	1493,24	1045,93
52	925,90	1362,00	1440,43	1477,98	1035,25	76	939,94	1379,09	1456,60	1494,16	1045,32
53	925,29	1362,92	1440,12	1478,90	1032,81	77	939,63	1379,09	1455,08	1494,16	1044,71
54	927,12	1362,92	1440,43	1479,20	1034,64	78	941,77	1380,31	1452,64	1494,16	1044,10
55	926,51	1364,14	1441,65	1480,12	1032,50	79	939,63	1375,73	1453,86	1490,80	1046,24
56	927,12	1366,27	1439,21	1480,73	1030,37	80	940,85	1376,95	1454,47	1492,94	1042,88
57	925,90	1362,92	1439,51	1479,81	1033,72	81	939,33	1374,21	1453,55	1492,02	1042,27
58	928,34	1365,97	1440,43	1479,81	1037,69	82	938,72	1372,07	1452,03	1492,94	1043,49
59	928,04	1362,61	1441,04	1479,20	1039,22	83	939,02	1370,24	1453,55	1492,33	1043,79
60	928,65	1360,47	1439,51	1479,51	1040,44	84	941,46	1369,02	1454,77	1492,94	1042,57
61	926,81	1361,69	1439,82	1479,20	1043,79	85	942,38	1366,27	1455,08	1494,77	1040,13
62	927,73	1360,78	1443,18	1479,20	1046,54	86	941,46	1364,14	1454,77	1494,46	1038,61
63	928,95	1361,39	1441,96	1481,04	1046,54	87	942,68	1361,39	1455,69	1494,46	1037,69
64	926,81	1359,86	1441,96	1480,12	1051,42	88	942,07	1359,86	1456,91	1495,07	1036,47
65	929,26	1360,78	1443,48	1481,34	1052,34	89	943,90	1356,51	1457,21	1496,29	1036,77
66	932,31	1362,30	1445,92	1482,26	1052,64	90	943,90	1355,29	1458,74	1498,43	1036,16
67	932,61	1360,47	1445,92	1484,39	1053,56	91	946,35	1356,81	1460,57	1496,60	1035,86
68	933,53	1364,44	1448,06	1485,92	1054,78	92	947,26	1356,81	1462,10	1500,87	1034,03
69	935,05	1366,58	1448,67	1487,14	1054,78	93	951,84	1356,81	1464,23	1500,87	1034,33
70	935,97	1371,15	1451,42	1488,66	1053,56	94	951,84	1354,98	1469,12	1505,14	1031,28
71	939,33	1371,77	1453,55	1490,50	1053,86	95	955,81	1354,98	1471,56	1508,81	1034,15
72	939,33	1376,95	1453,25	1491,11	1049,29	96	960,99	1352,84	1473,39	1511,25	1034,53

Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5	Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5
97	960,08	1353,15	1473,39	1511,55	1034,72	121	970,45	1372,70	1482,85	1522,54	1047,15
98	960,08	1351,62	1472,17	1513,38	1034,92	122	968,62	1372,70	1484,37	1520,40	1048,07
99	959,77	1351,62	1472,17	1511,55	1035,11	123	968,93	1372,70	1482,24	1522,54	1048,68
100	960,38	1353,15	1475,22	1513,69	1035,31	124	968,32	1372,71	1482,85	1521,32	1046,24
101	961,60	1352,84	1476,44	1514,91	1043,49	125	968,93	1372,74	1482,54	1520,71	1045,01
102	961,91	1351,93	1474,30	1513,69	1045,62	126	970,45	1372,78	1481,93	1520,40	1043,49
103	962,52	1352,54	1474,61	1514,30	1048,07	127	969,84	1372,81	1481,63	1520,09	1043,79
104	961,30	1352,84	1474,30	1512,47	1049,90	128	970,76	1372,85	1482,85	1523,15	1047,76
105	960,38	1350,71	1473,08	1512,47	1052,64	129	970,76	1372,89	1484,37	1522,84	1045,62
106	958,25	1350,71	1472,47	1511,25	1053,86	130	969,84	1372,92	1484,37	1523,76	1043,18
107	959,77	1350,40	1471,25	1513,08	1055,39	131	970,15	1372,96	1483,76	1523,15	1042,88
108	957,33	1348,88	1471,56	1510,94	1055,09	132	971,67	1373,00	1483,76	1522,84	1041,66
109	958,55	1350,40	1470,95	1510,64	1055,39	133	971,37	1373,03	1483,76	1523,76	1040,44
110	957,94	1348,57	1469,12	1508,50	1054,48	134	968,32	1373,07	1483,76	1521,93	1040,44
111	958,25	1351,32	1471,25	1508,81	1052,64	135	973,20	1373,11	1483,76	1522,54	1039,52
112	957,64	1351,62	1470,34	1509,72	1050,51	136	975,03	1373,14	1483,76	1528,94	1038,30
113	958,25	1355,29	1471,56	1510,33	1048,98	137	981,13	1373,18	1483,76	1530,47	1037,69
114	956,11	1359,25	1470,34	1509,11	1048,07	138	982,05	1373,22	1483,76	1534,44	1036,47
115	959,47	1359,56	1472,47	1509,42	1048,68	139	984,18	1373,25	1483,76	1537,49	1034,94
116	960,08	1360,47	1476,44	1511,86	1047,46	140	992,42	1373,32	1483,76	1543,59	1035,86
117	962,52	1364,44	1477,66	1516,13	1046,85	141	994,56	1373,36	1483,76	1546,65	1033,42
118	965,57	1368,71	1481,63	1515,83	1043,49	142	997,00	1373,40	1483,76	1546,95	1034,07
119	968,32	1372,99	1481,32	1521,62	1043,79	143	999,75	1373,43	1483,76	1546,96	1034,26
120	968,32	1372,68	1481,01	1521,01	1049,90	144	999,75	1373,50	1483,76	1546,97	1034,64

Tiempo (h)	MP1	M1	M2	M3	M5
145	1003,72	1373,51	1483,76	1546,98	1034,84
146	1000,96	1373,53	1483,76	1546,99	1035,03
147	1000,35	1373,54	1483,76	1546,99	1035,22
148	1000,65	1373,56	1483,76	1547,00	1035,42
149	998,20	1373,57	1483,76	1547,14	1035,62
150	999,42	1373,58	1483,76	1547,32	1035,80
151	996,97	1373,60	1484,81	1547,51	1035,99
152	995,74	1373,61	1485,16	1547,70	1036,18
153	995,43	1373,63	1487,03	1547,89	1036,38
154	994,51	1373,64	1487,03	1548,08	1036,57
155	993,59	1373,66	1487,03	1548,28	1036,77
156	991,45	1373,67	1487,03	1548,47	1036,96
157	990,22	1373,69	1487,03	1548,48	1037,15
158	988,08	1373,70	1487,01	1548,49	1037,34
159	987,16	1373,71	1487,00	1548,50	1037,53
160	986,24	1373,73	1486,98	1548,54	1037,73
161	986,24	1373,74	1486,97	1548,67	1038,08
162	983,79	1373,76	1486,95	1548,80	1038,54
163	984,09	1373,77	1486,94	1548,92	1038,98
164	981,64	1373,79	1486,92	1549,06	1039,45
165	980,72	1373,80	1486,91	1549,19	1039,91
166	981,94	1373,81	1486,89	1549,31	1040,34
167	977,96	1373,83	1486,88	1549,44	1040,80
168	976,12	1373,86	1486,85	1549,70	1041,71