



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

Máster en Ingeniería Industrial

**MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**  
**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**REDISEÑO DE FILTRO DE BIOARENA PARA EL TRATAMIENTO DE  
AGUA CON EL OBJETIVO DE FACILITAR EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN EN PAÍSES EN DESARROLLO.**

Autor: Dña. Eugenia Teresa Longarela del Hoyo.  
Tutor: D. Manuel San Juan

Valladolid, junio, 2020



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Ingeniería Industrial

*“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo”*  
Nelson Mandela, 2002.



## **RESUMEN:**

Actualmente en África el porcentaje de personas que ingieren agua sin ningún tipo de tratamiento ronda el 29% de la población, haciendo que sea una de las principales causas de muerte y transmisión de enfermedades entre los grupos más vulnerables. El proyecto de filtros de bio-arena tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida de estos grupos de personas apoyándose en el ODS-6 sobre el acceso a agua limpia y de saneamiento. Actualmente, el principal problema del proyecto se encuentra en el proceso de fabricación debido a que está generando unas pérdidas considerables al fabricante pudiendo llegar a ocasionar el abandono del sistema de depuración.

Para resolver estos problemas, será necesario conocer el comportamiento de los materiales, en concreto del hormigón (material del que está hecho el recipiente contenedor de agua), en las diferentes épocas del año debido a la gran variación climática que existe en el lugar de implantación. A lo largo del TFM, se realizarán diferentes diseños con Catia V5 para el conjunto del molde con el fin último de mejorar el sistema de fabricación actual, seleccionando la alternativa más óptima gracias a un diseño viable y duradero con la idea de poder implantarlo en Nikki (Benín), a lo largo de este año 2020.

Palabras clave: Tratamiento de agua, Diseño con Catia V5, Fabricación, Hormigón, Acero.

## **ABSTRACT:**

Currently in Africa the percentage of people who drink water without any type of treatment is around 29% of the population. This fact is one of the main causes of death and disease transmission among the most vulnerable groups on the African continent. The main objective of the bio-sand filter project is to improve the quality of life of these groups of people, using the SDG-6 programme regarding access to clean water and sanitation as a reference. Currently, the main problem of the project is in the manufacturing process because it generates considerable losses to the manufacturer, which may lead manufactures to withdraw from producing water treatment systems.

In order to resolve all the aforementioned problems it is necessary to know the behaviour of the materials used to manufacture the water treatment systems, specifically concrete (material from which the water container is made) and its behaviour at different times of the year due to the great climatic variation that exists in the place of implantation. Throughout my Final Master's Project, different designs were made with Catia V5 for the mould assembly with the ultimate goal of improving the current manufacturing system, selecting the best alternative



---

Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES

---

Máster en Ingeniería Industrial

based on the most viable and durable design with the idea of being able to implant it in the region of Nikki (Benin), throughout this year 2020.

Keywords: Water treatment, Design with Catia V5, Manufacturing, Concrete, Steel.



### **AGRADECIMIENTOS:**

A la **Universidad de Valladolid (Uva)**, en concreto a mi tutor **D. Manuel San Juan Blanco** perteneciente al “*área de ingeniería de los procesos de fabricación*” por brindarme la oportunidad de presentar el trabajo fin de máster bajo su supervisión. Por animarme y guiarme en los momentos de tensión durante los diferentes hitos del proyecto.

A **OAN International** por acompañarme durante este recorrido, por abrirme los ojos frente a una realidad desconocida y por hacerme ver que con esfuerzo y empeño las cosas pueden cambiar poco a poco. Mención especial a mi compañero y tutor de OAN International **D. Héctor Castañón** por su dedicación al 100% en terreno. Por enseñarme y compartir conmigo el proyecto de bio-arena desde sus inicios. Involucrándome en él, consiguiendo que lo haya podido sentir como un pedacito de mí.

A mi **familia y amigos** por entender la necesidad de realizar este proyecto, respetando todas mis decisiones y confiar siempre en mí. Especialmente a **mis padres** por la formación recibida a lo largo de mi vida, por exigirme y hacerme ver lo importante que es una buena educación.



## ÍNDICE:

<b>1. INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>1</b>
1.1. PANORAMA ACTUAL ACCESO A AGUA LIMPIA Y DE SANEAMIENTO: .....	2
1.2. PUNTO DE PARTIDA: .....	5
1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE BIO-ARENA: .....	7
1.2.2. FUNCIONAMIENTO DETALLADO (FILTRO DE BIO-ARENA): .....	9
1.3. PRINCIPALES PROBLEMAS ENCONTRADOS:.....	11
1.4. OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN ALCANZAR:.....	13
<b>2. ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CONVENCIONALES Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO:</b> .....	<b>15</b>
2.1. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN A LAS PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS DEL HORMIGÓN:.....	15
2.1.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL:.....	16
2.1.2. TEMPERATURA INICIAL DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA:.....	21
2.1.3. HUMEDAD RELATIVA:.....	22
2.1.4. VELOCIDAD DEL VIENTO: .....	23
2.1.5. RADIACIÓN SOLAR:.....	24
2.1.6. RELACIÓN AGUA / CEMENTO (a/c).....	26
2.1.7. INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN NIKKI (BENÍN):.....	27
2.2. OTROS FACTORES POR CONTROLAR EN LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN:.....	40
2.2.1. PROPIEDADES DE LA MEZCLA ACTUAL FRENTE A LAS DE LA MEZCLA ADAPTADA A LAS DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO: .....	40
2.2.2. TIPOS DE ADITIVOS A EMPLEAR PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FINALES DE LA MEZCLA:.....	41
2.2.3. FUERZAS Y ESFUERZOS QUE DEBE SOPORTAR LA MEZCLA: .....	44
2.2.4. USO DE ADITIVOS O AGENTES DESMOLDANTES PARA MEJORAR LA EXTRACCIÓN DEL RECIPIENTE:.....	44
2.2.5. POSIBILIDAD DE HACER UN VIBRADO A LA MEZCLA DE HORMIGÓN, CON APLICACIÓN EN NIKKI (BENÍN): .....	45
2.3. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE: .....	46
2.3.1. ESTUDIO DE DISTINTOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE: 47	
2.3.2. MEJORAS QUE SE PUEDEN IMPLANTAR SOBRE EL DISEÑO ACTUAL: .....	49
2.3.3. SELECCIÓN DEL MATERIAL A EMPLEAR (ACERO, PLÁSTICO O MADERA): .....	51
<b>3. PROPUESTAS DE MEJORA EN EL DISEÑO:</b> .....	<b>55</b>
3.1. DIFERENTES DISEÑOS QUE SE PUEDEN EMPLEAR:.....	55
3.2. DISEÑO EN 3D DE LOS DIFERENTES MODELOS:.....	55
3.2.1. MOLDE DE ACERO DESMONTABLE: .....	55



3.2.2.	MOLDE DE ACERO CIRCULAR:	56
3.2.3.	MOLDE DE PLÁSTICO:	56
3.3.	MATERIALES EMPLEADOS EN CADA UNO DE LOS DISEÑOS:	57
3.3.1.	MOLDE DE ACERO DESMONTABLE:	57
3.3.2.	MOLDE DE ACERO CIRCULAR:	59
3.3.3.	MOLDE DE PLÁSTICO:	60
3.4.	EVALUACIÓN DEL COSTE - PRESUPUESTO:	60
3.4.1.	COSTES MATERIALES E INMATERIALES SEGÚN LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS:	61
3.5.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:	66
<b>4.</b>	<b>NUEVO MOLDE PROPUESTO:</b>	<b>69</b>
4.1.	PLANOS DETALLE:	69
4.2.	PROCESO DE MONTAJE Y DESMONTAJE DEL CONJUNTO:	70
4.3.	ANÁLISIS DE IMPACTOS:	78
4.3.1.	IMPACTO SOCIOECONÓMICO:	78
4.3.2.	IMPACTO AMBIENTAL:	80
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO:</b>	<b>81</b>
5.1.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO:	81
5.2.	POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO EN TERRENO:	82
5.3.	POSIBLES TFG/TFM DE LA MANO DE OAN INTERNATIONAL:	82
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA:</b>	<b>85</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS:</b>	<b>87</b>
7.1.	ANEXO 1: ÍNDICE DE FIGURAS:	87
7.2.	ANEXO 2: ÍNDICE DE TABLAS:	87
7.3.	ANEXO 3: ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS:	88
7.4.	ANEXO 4: PLANOS DETALLE MOLDE ACERO DESMONTABLE:	88
7.4.1.	PLANOS MOLDE EXTERIOR:	88
7.4.2.	PLANOS MOLDE INTERIOR:	88



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Ingeniería Industrial**





## 1. INTRODUCCIÓN:

El consumo de agua de calidad es uno de los principales problemas que debe afrontar nuestra sociedad, ya que existen muchos países en vías de desarrollo donde el agua todavía no cubre las necesidades mínimas en términos de seguridad alimentaria. Es necesario recordar que *“todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, físicamente accesible y asequible de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico”* (ACNUR - Comité español., 2018).

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo de todo ser vivo y un mal consumo de este es fuente de gran cantidad de enfermedades pudiendo llegar a provocar la muerte si no es tratada adecuadamente. En el mundo hay agua dulce suficiente para que todas las personas tengan acceso, pero se espera que para el año 2050 un 25% de la población mundial viva en un país afectado por escasez crónica y reiterada de agua dulce (UNESCO [The United Nations world water development report]., 2019).

Este trabajo forma parte del proyecto de filtros de bio-arena de la ONG OAN INTERNATIONAL. El proyecto está centrado en mejorar la calidad del agua en la localidad de Nikki (Benín). En donde tras 5 años de trabajo y análisis en terreno, se ha visto la necesidad de realizar algunas mejoras en el proceso de fabricación y así facilitar el acceso a agua dulce a un mayor número de personas.

A lo largo del TFM se detallará el funcionamiento del filtro de bio-arena y los materiales que se deberán emplear en la construcción, con el objetivo principal de alargar su vida útil, así como la funcionalidad de los filtros. Todo esto es necesario ya que una mala gestión implicará el abandono del sistema de depuración y retorno al consumo de agua sin tratamiento previo.

Hay que tener en cuenta que el proyecto se está desarrollando en una localidad donde la disponibilidad de materiales, equipos y técnicas empleadas son básicas en comparación a las usadas en occidente y cualquier cambio, por muy simple que parezca, implicará un tiempo considerable de adaptación en la sociedad. Por tanto, es necesario trabajar con un sistema simple donde el mantenimiento y seguimiento del proyecto sea adecuado, fiable y duradero.



## 1.1. PANORAMA ACTUAL ACCESO A AGUA LIMPIA Y DE SANEAMIENTO:

Hoy en día, los problemas de salud derivados de la escasez y el consumo de agua contaminada son muy graves, produciendo deshidratación, hambrunas, mortalidad infantil, enfermedades causadas por la falta de higiene, diarreas, cólera... especialmente en África, donde el agua contaminada es uno de los mayores aliados a la hora de expandir el VIH por todo el continente (NACIONES UNIDAS [Objetivos de desarrollo sostenible], 2020). Además, en una situación crítica como la que se está viviendo en todo el mundo por el Covid-19 es necesario tener acceso a un agua limpia y saneada para detener el número de contagios ya que de no ser así podría agravar sus consecuencias.

Dentro de los 17 objetivos de la agenda 2030 sobre el desarrollo sostenible, este trabajo se centrará en el ODS6 que consiste en – **Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y de saneamiento para todos** (NACIONES UNIDAS ODS-6 [Agua limpia y de saneamiento], 2016).

Actualmente, todavía existen miles de millones de personas que siguen enfrentándose a diario a enormes dificultades para acceder a los servicios más elementales. Además del difícil acceso, el aumento de las aguas contaminadas y la falta de saneamiento básico obstaculizan la erradicación de la pobreza extrema, debido a que se ha normalizado verter directamente al mar o a los ríos excrementos humanos y de animales sin ningún tipo de tratamiento (UNICEF AND WORLD HEALTH ORGANIZATION [Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target]., 2006). Centrándonos en África subsahariana el 29% del agua de consumo no tiene ningún tipo de tratamiento.

**Las metas del objetivo 6 (ODS-6) hasta el año 2030 se resumen en** (NACIONES UNIDAS [Objetivos de desarrollo sostenible], 2020):

- ✓ De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos. (\*\*)
- ✓ Lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, los niños y las personas en situaciones de vulnerabilidad.



- ✓ Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial. (\*\*)
- ✓ Aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua. (\*\*)
- ✓ Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda. (\*\*)
- ✓ Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- ✓ Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización. (\*\*)
- ✓ Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento. (\*\*)

(\*\*) De las metas sobre el desarrollo de agua limpia y de saneamiento los puntos marcados con asteriscos (\*\*) son objetivos que se pretenden favorecer y alcanzar en medida de lo posible con este trabajo, intentando mejorar el acceso a agua de calidad al mayor número de personas a un precio justo.

El proyecto de filtros de bio-arena se inició en Nikki (Benín) en 2014 y actualmente se encuentra en su última fase de **ejecución y puesta en marcha**. Cabe destacar que, a la hora de implantar un proyecto en una región como esta, es importante hacer un estudio de la repercusión y el impacto que puede llegar a generar y ver si es posible cumplir con las expectativas recogidas al inicio del proyecto. Por eso, aunque se pretende

que este proyecto sea reproducible en cualquier lugar del mundo, no se puede garantizar el mismo desarrollo o impacto en todas las localidades y los problemas que se deban afrontar variaran en función de la población destino. En este proyecto se recogerá información sobre Nikki, estudiando: la cultura africana, educación, materiales a emplear y relaciones con agentes implicados.

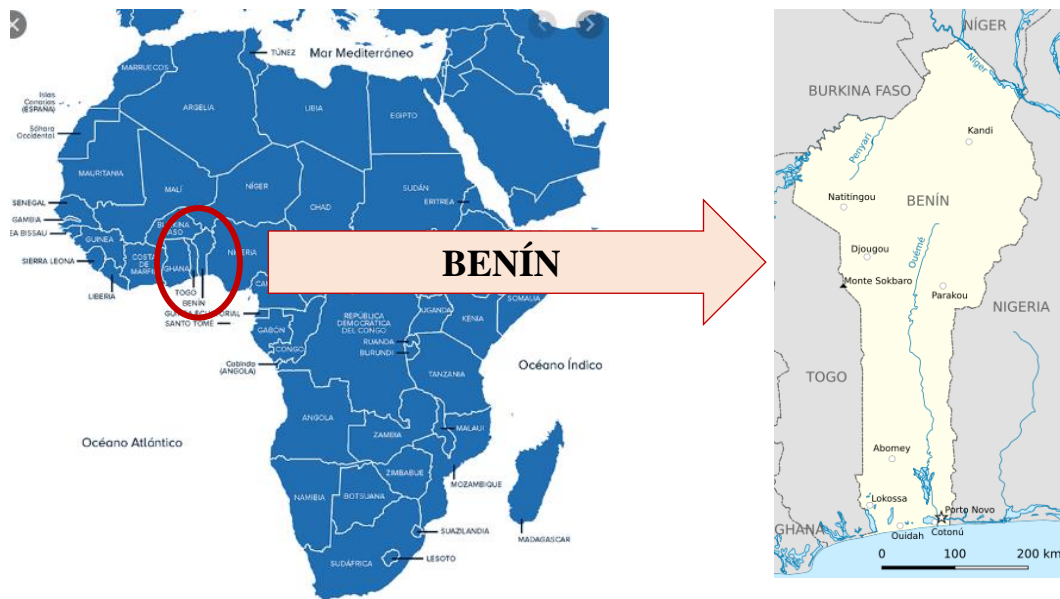


Figura 1. Mapa de Benín.

**El marco de África Subsahariana y su relación con el agua:**

En África, el % de agua que se ingiere directamente sin ningún tipo de tratamiento ronda el 29% por ello, un buen abastecimiento tiene que conseguir abordar los siguientes aspectos:

- Fuente de agua **disponible** y a **menos de 1000m de distancia entre el punto de consumo y el de recogida** para que no se emplee más de 30 minutos en la recogida diaria.
- **Buen acceso** a la fuente, donde las personas no tengan que arriesgar su vida para conseguir una cantidad suficiente de agua que cubra las necesidades mínimas de **50/100 litros al día**.
- **Tratamiento del agua en función del tipo de fuente**, según la procedencia del agua (superficial/subterránea) será necesario un segundo tratamiento que garantice la calidad de esta.



En relación con el tercer punto, (tratamiento del agua en función del tipo de fuente) estarían los filtros de bio-arena como método de depuración de agua de manera sencilla, puesto que, un sistema entubado resulta inviable por el momento, debido a que en las zonas rurales no existen pozos ni sistemas de recogida de agua. Cabe destacar, que el acceso a agua potable en la localidad de Nikki (Benín) está muy restringido debido a que sólo se vende en quioscos, puestos de mercado o camiones cisternas, lo que hace que las desigualdades entre las diferentes clases sociales sean aún mayores.

Las mujeres y los niños son los encargados de la gestión y recogida diaria del agua lo que los convierte en los grupos más desfavorables. Se estima que en aproximadamente 8 de cada 10 hogares el agua esté ubicada fuera de las casas. El hecho de no disponer de agua corriente hace que se tengan que encargar de retirar el agua contaminada y exponerlos a enfermedades transmitidas por esta vía como el tifus, cólera, diarrea, infecciones por hepatitis...

## 1.2. PUNTO DE PARTIDA:

El proyecto de filtros de bio-arena se ha podido llevar a cabo gracias a la **ONG OAN International**, donde se plantea un modelo de cooperación sostenible y replicable en otros lugares, basado en el protagonismo local y en consonancia con las estructuras estatales ya establecidas.

Los proyectos de cooperación al desarrollo, así como las investigaciones estratégicas, se enmarcan en cuatro comités aplicando del mismo modo la perspectiva de género y el enfoque basado en derechos humanos.

Los diferentes hitos que han marcado el proyecto de filtros de bio-arena se podrían resumir en:

- **Año 2014/2015: investigación** de las necesidades de la población y desarrollo de las principales líneas futuras de trabajo.
- **Año 2016: análisis del agua de consumo**, heces, excrementos de los diferentes grupos de personas, consiguiendo los **primeros resultados sobre las principales causas de muerte en la localidad**. Se vio que el consumo de agua en mal estado era generador de la gran mayoría de enfermedades y, por tanto, de muertes en la población de Nikki. Además, se pusieron en contacto con la ONG canadiense “ONG CAWST Centre for Affordable Water and Sanitation Technology” puntera en tratamiento de aguas, para conocer las metodologías y tratamientos de agua que se podían utilizar en Nikki. Se propuso la idea de **implantar los**



**filtros de bio-arena** ya que se habían conseguido buenos resultados en otras localidades de las mismas características.

- **Año 2017:** se empezaron a **fabricar los primeros filtros** con la ayuda de un agente local que gestiona de manera independiente la construcción de los filtros a un precio justo fijado con anterioridad.
- **Año 2018/2020:** **seguimiento** de los filtros ya implantados y análisis de los principales problemas, los cuales se intentarán hacer frente a lo largo de este TFM. Además, se centró el proyecto en la **difusión mediática** a través de la radio y se iniciaron las primeras **sensibilizaciones** por los barrios para dar a conocer la importancia de consumir agua en buenas condiciones.

Cabe destacar, que actualmente, se encuentran implantados en la localidad alrededor de 40 filtros. Teniendo en cuenta que con un filtro se podría abastecer a unas 40 personas gracias a los filtros se habría **mejorado la calidad de vida de unas 800 personas**, aunque **no se ha podido garantizar que el 100% que los filtros instalados estén funcionando correctamente**.

#### ***¿Cómo se han llevado a cabo estas sensibilizaciones?:***

El objetivo principal del trabajo durante el 2018/2019 fue conseguir concienciar al mayor número de personas de la necesidad de consumir agua de calidad. Se llevaron a cabo dos líneas de difusión en paralelo, por un lado, **difusión mediática** mediante anuncios publicitarios en la radio, en las diferentes lenguas locales (francés, pheul y bariba) y por otro, **sensibilizaciones** por los diferentes barrios de la ciudad. Estas sensibilizaciones tuvieron un impacto muy positivo puesto que se llegó a un gran número de personas y pudieron ver de forma visual el funcionamiento de estos. Además, con la ayuda de un agente local se explicó la necesidad de consumir agua en buen estado, aportando datos reales sobre la disminución de enfermedades en familias que utilizaron la filtración del agua.

*\*Nota:* las sensibilizaciones se han continuado a lo largo del 2019/2020 puesto que es un mecanismo excelente para la comprensión del funcionamiento al que pueden acudir todos los miembros de la familia.



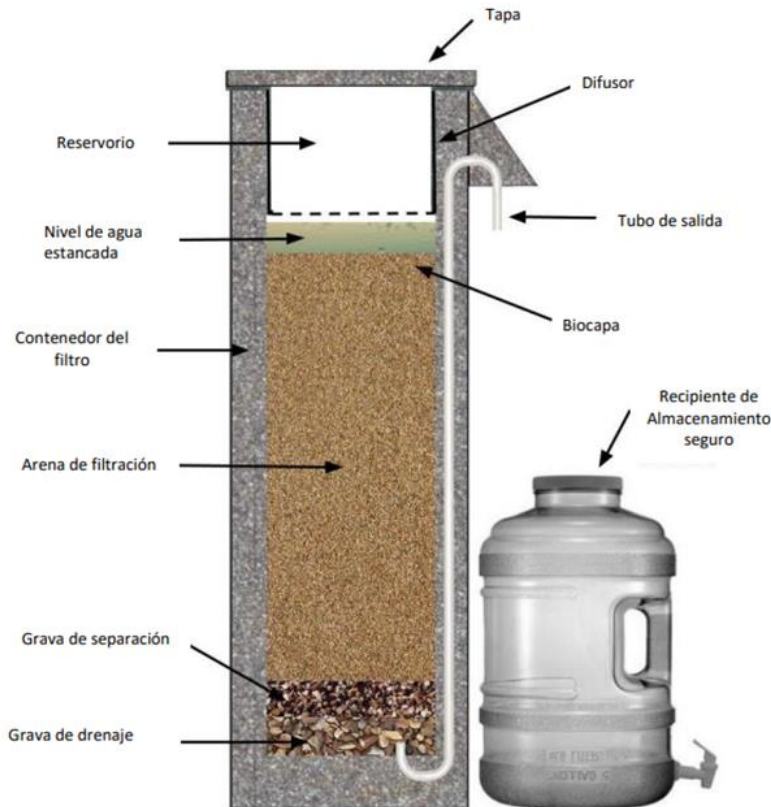
*Figura 2. Sensibilizaciones verano 2018*

### **1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE BIO-ARENA:**

En este apartado se pretende detallar el funcionamiento del filtro de bio-arena para poder comprender de una manera sencilla cuáles son los objetivos y los puntos de mejora en relación con el sistema de fabricación que se pretenden abordar dentro del trabajo fin de máster.

Toda información que no se encuentre especificada a lo largo del trabajo se podrá obtener en el siguiente manual: (CAWDT - Centre for affordable water and sanitation technology., 2009).

El filtro de bio-arena, a grandes rasgos, es un sistema depurador de aguas capaz de eliminar hasta un 90% de los patógenos contenidos en el agua, esto lo consigue haciendo pasar el agua a través de arenas de diferentes tamaños que eliminan cualquier bacteria contenida en el agua.



*Figura 3. Partes del filtro de bio-arena.*

**Recipiente (contenedor del filtro):** encargado de contener en su interior la grava y arena necesarias para llevar a cabo la filtración, se puede fabricar de concreto o plástico. Es muy importante seguir los pasos de fabricación debido que un mal procedimiento lleva asociado problemas de filtración por las paredes laterales.

**Tapa:** su función es proteger la parte interior del filtro de insectos y otras partículas que se pudieran introducir del ambiente exterior.

**Placa difusora (reservorio):** placa o caja colocada por encima de la arena, con pequeños orificios en la base para facilitar el correcto flujo de agua en su interior, distribuyendo por igual a toda la superficie de arena de filtración.

**Nivel de agua estancada:** capa de agua la cual hace que sobreviva la capa biológica, debe ser aproximadamente de unos 5cm para asegurar en todo momento que a la capa biológica le llega el oxígeno suficiente y que así nunca se seque.





**Bio-capa o capa biológica:** está situada en la zona superior de la arena dónde se encuentran los microorganismos los cuales necesitan el oxígeno que atraviesa la placa difusora para sobrevivir.

**Arena de filtración:** situada por debajo de la bio-capa, dicha capa es atravesada por el agua que va descendiendo a lo largo de toda la capa de arena.

**Grava de separación:** encarga de dejar pasar sólo el agua y retener la arena en la misma posición.

**Grava de drenaje:** grava de mayor tamaño que la grava de separación para no bloquear la entrada del tubo de salida.

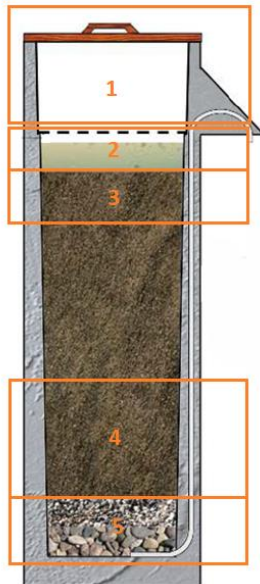
**Tubo de salida:** tubo hueco que conecta la parte inferior del filtro con el recipiente de almacenamiento.

**Recipiente de almacenamiento seguro:** contenedor situado a la salida del filtro para almacenar el agua libre de microorganismo en un lugar seguro, debe estar limpio y tener una tapa para no estar en contacto directo con el ambiente.

### 1.2.2. FUNCIONAMIENTO DETALLADO (FILTRO DE BIO-ARENA):

El filtro se puede dividir en 5 zonas bien definidas:

- **Zona de reservorio** para el agua de entrada.
- **Zona de agua estancada.**
- **Zona biológica.**
- **Zona no-biológica.**
- **Zona de grava.**



**Figura 4. Zonas del biofiltro.**

**Zona de reservorio (1):** zona por donde se introduce el agua que se desea filtrar.

**Zona de agua estancada (2):** entre sus funciones principales se encuentran, por un lado, mantener la arena mojada y por otro dejar pasar el oxígeno a la bio-capa (5cm de profundidad).

**Zona biológica (3):** zona superior de la arena de unos 5-10cm. La arena de filtración extrae los patógenos, las partículas suspendidas y otros contaminantes.

**Zona no-biológica (4):** capa de arena ausente de microorganismos vivos, debido a la falta de nutrientes y oxígeno.

**Zona de grava (5):** tiene como función principal mantener la arena en su sitio y evitar que se tapone el tubo de salida, por eso, deben ser piedras de mayor tamaño.

El agua se quiere tratar debido a que contiene patógenos (cualquier organismo viviente que causa enfermedades, como bacterias, virus, protozoarios y helmintos). Los patógenos junto con los sólidos suspendidos se extraen a través de la combinación de procesos biológicos y químicos que tienen lugar en la bio-capa, en la parte superior de la capa de arena. Los procesos biológicos que favorecen la extracción de los sólidos suspendidos incluyen: atrapamiento mecánico, depredación, adsorción y muerte natural.

**Entrampamiento mecánico:** Los sólidos suspendidos y los patógenos quedan físicamente atrapados en los espacios existentes entre los granos de arena.

**Depredación:** Los patógenos son consumidos por otros microorganismos que se encuentran en la bio-capa.

**Adsorción:** Los patógenos se adhieren entre ellos, a los sólidos suspendidos que se encuentran en el agua y en los granos de arena.

**Muerte natural:** Los patógenos terminan su ciclo de vida o mueren porque no tienen suficiente alimento u oxígeno para su supervivencia.



### 1.3. PRINCIPALES PROBLEMAS ENCONTRADOS:

Como se ha comentado en el apartado 1.2. *Punto de partida*; en verano de 2017 se empezaron a fabricar los filtros según el manual cedido por la ONG canadiense. Pero, tras la puesta en marcha, se vio que era necesario realizar algunas mejoras en el proceso de fabricación del recipiente/contenedor de filtro.

Los principales problemas que presentan los filtros actualmente son los siguientes:

- Para la construcción del recipiente se utiliza un conjunto formado por dos partes (molde interior y molde exterior). El molde exterior es desmontable, está formado por chapa de acero y un conjunto de tuercas y tornillos situados a diferentes alturas necesarios para sujetar las placas entre sí y conseguir la forma deseada una vez pasadas las 48h de secado del concreto. En cambio, el molde interno es un bloque formado por chapas de acero soldadas entre sí de manera que forma un conjunto hueco con la forma interna del molde, el cual se extrae mediante un sistema extractor gracias al tornillo sin fin que contiene en su interior. El principal problema de los filtros está relacionado con el molde interno debido a que en **muchas ocasiones el concreto se queda pegado a las paredes internas del molde y es imposible separar la chapa de acero del concreto ya seco.**

Una vez que se pega ya no se puede hacer girar el extractor, sistema que contiene cuatro pernos que facilita el arrastre del molde interno sobre las superficies del filtro y hace que vaya separando la estructura del molde del filtro. El molde debería poderse extraer del filtro, pero el problema se incrementa cuando el concreto se pega demasiado a las chapas del molde y en ese caso ya no se puede hacer fuerza porque se deformaría el extractor y el molde quedaría inservible.

En la siguiente figura se puede ver cómo funciona el sistema de extracción, y los problemas que puede ocasionar un excesivo pegado del hormigón a las paredes de este.



*Figura 5. Ajuste del extractor durante la retirada del molde interior.*

Haciendo un estudio sobre el total de los filtros construidos, **durante la fabricación se rompen o quedan inutilizados alrededor del 45% del total** lo que genera unas pérdidas muy grandes de material al fabricante. El margen de ganancia del fabricante es mínimo y no se puede permitir tener elevadas pérdidas iniciales.

- El material del contenedor es de hormigón, actualmente la fabricación con este material presenta problemas ya que no se ha definido la relación de agua/cemento a utilizar lo que termina provocando **problemas de permeabilidad por las paredes de la estructura**. Además, **la estructura del contenedor vacía es muy pesada alrededor de 90Kg** y una vez que se añade la arena de filtración llega a alcanzar los 130Kg. Lo que **dificulta mucho el traslado desde el lugar de fabricación hasta el de implantación**.
- Otro de los principales problemas se encuentra en el mantenimiento del filtro durante el funcionamiento. Es igual de importante seguir todos los pasos indicados en el proceso de fabricación, así como un buen **mantenimiento del filtro**. Un filtro con un buen mantenimiento puede trabajar sin dar problemas toda la vida, aunque se recomienda cambiar la arena de filtración aproximadamente cada 10 años. Una parte importante del proyecto se ha centrado en hacer una revisión sobre los filtros implantados puesto que, nos da mucha información sobre el uso que se



le ha dado, y si han bajado el número de enfermos en las familias respecto a años anteriores.

- Una vez que se instala un filtro es necesario tener archivada la siguiente información:
  - Número del filtro.
  - Nombre de la casa.
  - Ubicación.
  - Revisión de los componentes.
  - Nivel de arena adecuado.
  - Velocidad de flujo.
  - Turbidez del agua.
  - Olor y sabor del agua.
  - Utilidad del agua.
  - Limpieza.
  - Contenedores de agua de almacenamiento adecuados y limpios.

Es muy importante hacer entrevistas a la gente local y tener registrada la mayor cantidad de información en relación con la población para poder entender sus necesidades y conseguir poco a poco que sean conscientes de las ventajas que les puede ofrecer un filtro en buen estado.

- Por último, otro de los principales problemas encontrados es **que la población no ve la necesidad de consumir agua filtrada y es muy complicado conseguir la aceptación local**. En muchas ocasiones la gente se muestra interesada y terminan comprando el filtro, pero no realizan de manera correcta las tareas de mantenimiento lo que hace que muera la capa biológica y el filtro quede inservible.

#### 1.4.OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN ALCANZAR:

Los objetivos del proyecto pretender abordar los problemas citados en el apartado anterior. Teniendo como **principal objetivo del trabajo fin de máster facilitar la fabricación del contenedor del filtro** (paredes exteriores). El paso más crítico se centra en el desmoldeo o separación entre el molde interno y el extractor.

Para poner solución a los diferentes problemas, se debe conseguir:



- **Estudiar y estandarizar los materiales y proporciones a utilizar en la mezcla de hormigón garantizando las propiedades del concreto más adecuadas a las diferentes épocas del año.** Además, se analizará la velocidad de secado en función de variables externas no controladas obteniendo como resultado tiempos de secado óptimos a lo largo del año.
- **Rediseñar la parte interna del molde** que minimice en medida de lo posible la adhesión del concreto a la chapa de acero. Además, se debe poder extraer el molde sin que sufran las paredes que se encuentran en contacto (tanto las del molde como las del filtro). Para ello, se diseñarán diferentes alternativas que garanticen la integridad del molde en el tiempo sin aumentar los costes.
- **Buscar alternativas en los materiales a utilizar** con el fin de disminuir el peso del filtro sin incrementar el coste de fabricación, facilitando así el transporte desde el lugar de fabricación al de consumo.
- **Aumentar las sensibilizaciones y formaciones de los agentes implicados** para asegurar el mantenimiento y el buen uso de los filtros evitando así que se abandonen semanas después de la compra.



## **2. ESTADO DEL ARTE SOBRE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN CONVENCIONALES Y SU APLICACIÓN AL PROYECTO:**

Una vez definidos los objetivos que se pretenden alcanzar con el proyecto, se deben exponer las condiciones y los límites a los que se verá expuesto ya que será determinante a la hora de conseguir una implantación óptima.

Se debe tener presente en todo momento, que un sistema muy novedoso no se podría llevar a cabo debido a que se aumentaría mucho el coste y la búsqueda de material comprometería el fin último del proyecto. Actualmente, la fabricación del molde se ha realizado en España y en el caso de seguir adelante con el presente TFM también estaría previsto realizarlo en el mismo lugar y enviarlo posteriormente al lugar de implantación debido a que las operaciones de mecanizado necesarias para su fabricación (soldadura en la mayoría de los casos) todavía no están desarrolladas en la localidad.

En el punto de mejoras y objetivos se expuso la idea de modificar o estandarizar el material de construcción para el contenedor del filtro. Por eso, este apartado se centrará en estudiar el comportamiento del hormigón (material del que está compuesto la estructura actualmente) en relación con las condiciones ambientales y con el acero. Tras hacer un estudio del comportamiento entre los materiales citados, se podrán conocer las causas principales que dificultan la extracción del molde interno durante el desmoldeo.

Por último, se expondrán distintos materiales con los que se podría realizar el molde y se justificará la elección en función del coste y la durabilidad.

### **2.1. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN A LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL HORMIGÓN:**

Dentro de los problemas encontrados durante la fabricación de los filtros se encuentran la **falta de análisis de los factores externos**. Se ha demostrado que en Nikki (Benín), durante el proceso de fabricación los materiales no se comportan igual en las diferentes épocas del año, en concreto, la época seca se ha visto gravemente afectada llegando incluso a imposibilitar la extracción del molde interno en la mayoría de las pruebas realizadas. Por otro lado, durante la época húmeda se facilita la extracción, aunque todavía hay un % alto de filtros que se rompen durante el proceso de fabricación. Por eso, se



necesita seleccionar las condiciones óptimas de trabajo de acuerdo con las diferentes épocas del año.

A lo largo del apartado, se analizará **cómo afectan los parámetros ambientales** (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar...) a la extracción del molde, y también se estudiará la **necesidad de modificar las proporciones de agua y cemento (a/c)**. Como veremos más adelante, aumentar la proporción de cemento no es una buena opción puesto que se perderá dicha relación. Por ello, se propondrá como alternativa usar otros componentes que sustituyan al cemento garantizando la resistencia y durabilidad del hormigón.

A priori, puede llamar la atención utilizar hormigón para construir un contenedor destinado a almacenar agua de consumo humano, pero dentro del abanico de posibilidades, este material cumple con la gran mayoría de los requisitos necesarios tales como: bajo coste, gran resistencia y durabilidad... mientras que, por otro lado, el peso del contenedor será un inconveniente para tener en cuenta. Actualmente, en las condiciones de trabajo, no se puede considerar la opción de realizar tratamientos superficiales sobre la estructura final ya que no se dispone de herramientas, ni material suficiente para realizar dichas tareas.

A la hora de analizar la calidad del hormigón se deben tener en cuenta los siguientes parámetros ambientales (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979):

- *Temperatura ambiental.*
- *Temperatura inicial de los componentes de la mezcla.*
- *Humedad relativa.*
- *Velocidad del viento.*
- *Radiación solar.*

El objetivo de estudiar dichos parámetros radica en conocer si realmente las reacciones químicas que se producen en el interior se ven afectadas cuando se trabaja en climas tropicales.

### 2.1.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL:

Existen muchos estudios en relación con el comportamiento del hormigón, pero la mayoría de la bibliografía encontrada se centra en experimentos trabajando en condiciones adiabáticas, es decir, sin intercambio de calor





con el exterior. Pero, se ha comprobado que las reacciones químicas que se producen entre el cemento y el agua en el interior de la mezcla se aceleran según va aumentando la temperatura exterior (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979).

Una aceleración en las reacciones genera los siguientes problemas:

- **Problema de proporciones**: un aumento de la temperatura ambiental lleva asociada una mayor demanda de agua por parte del hormigón. Esto implicará la pérdida de relación agua/cemento establecida que tendrá consecuencias negativas sobre la estructura final.
- **Problema fisicoquímico**: la reacción de hidratación en el interior de la mezcla será acelerada debido a una temperatura interior superior a la estándar. Este aumento de la velocidad de reacción hará que la resistencia inicial aumente, pero poco después esta resistencia se verá afectada negativamente.

Por eso, la temperatura exterior influirá tanto en el estado fresco como en el endurecido de la mezcla. A continuación, se detallarán las propiedades en cada uno de los estados y su influencia sobre la estructura final.

Durante el **ESTADO FRESCO del hormigón**, se deberá analizar:

### 1. **Trabajabilidad**:

La trabajabilidad es una propiedad que posee el hormigón fresco que hace que sea **más manejable sin riesgo de segregación**, la consistencia de la mezcla estará controlada por diferentes aspectos como: cantidad de agua adicional empleada, tamaño y distribución de los áridos, el cemento y la presencia o no de aditivos (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979).

Es igual de perjudicial a efectos estructurales la abundancia como la escasez de agua en la mezcla puesto que **la evaporación del agua libre hará que se pierda el efecto lubricante de hormigón**, además, la proporción agua/cemento será inferior a la establecida y aumentará la concentración de sólidos de la mezcla (Zaccardi, Taus, Maio, & Pittori, 2012).



## 2. Tiempo de fraguado / velocidades de reacción:

El fraguado se define como el paso de fluidez a rigidez, donde la mezcla va ganando resistencia cuando pasa del estado fresco al endurecido. Este endurecimiento se consigue gracias a las reacciones químicas de hidrólisis e hidratación entre los componentes de la mezcla que dependerán de la concentración y de la temperatura.

En relación con la temperatura, un aumento de ésta implicará una pérdida de agua por capilaridad y una disminución del agua libre presente en la masa. Esta capilaridad o transporte de humedad (movimiento del agua en estado líquido o gaseoso) se realizará hacia zonas de menos contenido de humedad en función del gradiente de humedad. Este movimiento de las partículas generará poros de diferentes tamaños distribuidos a lo largo de la estructura.

La cantidad de poros generados estará relacionada con la durabilidad y vida útil. Por eso, será necesario tener controlado el transporte de moléculas de agua hasta alcanzar el estado estacionario. El estado estacionario estará controlado por la velocidad que determine las reacciones. Las velocidades para estudiar son: **la velocidad de succión capilar (VSC)\*** y **la velocidad de secado (VSE)** de las superficies de hormigón expuestas al ambiente. En el análisis existen dos posibilidades (Zaccardi, Taus, Maio, & Pittori, 2012):

- ✓ **VSE > VSC** → La estructura no se saturará y el transporte molecular quedará limitado por la velocidad de succión, se producirá un endurecimiento de la mezcla, pero la formación de poros en el interior de la estructura continuará.
- ✓ **VSC > VSE** → La estructura se saturará y la VSC descenderá hasta que se iguale el volumen de agua evaporada, por tanto, una vez alcanzada la saturación se finalizará la formación de poros.

*\*Nota: Para garantizar la durabilidad de las estructuras, se debe cumplir que el límite máximo de velocidad de succión capilar (VSC) se encuentre en  $4g/(m^2 \cdot s^{1/2})$  (Zaccardi, Taus, Maio, & Pittori, 2012). Se deberá encontrar la saturación de la estructura para que se minimice en medida de lo posible el transporte de moléculas.*



Por último, comparando los resultados experimentales encontrados en la bibliografía (Zaccardi, Taus, Maio, & Pittori, 2012) con los obtenidos en nuestra estructura final, cabe destacar que se generan una gran cantidad de poros tanto en la superficie como en el interior de la mezcla lo que incita a pensar que **la velocidad de las reacciones está marcada por succión capilar provocando que no se llegue a conseguir la saturación de la mezcla**. Debido a la porosidad obtenida en los filtros fabricados **se decidió trabajar sólo durante la época húmeda** reduciendo así el gradiente de humedad y la velocidad de succión capilar.

### **3. Retracción plástica y fisuración:**

La retracción plástica y la fisuración son dos fenómenos que se suelen producir a la vez durante las primeras horas del amasado del hormigón coincidiendo con la evaporación del agua del hormigón en la capa superficial.

La evaporación del agua es acelerada por el gradiente de temperatura generado entre las superficie interior y exterior (ambiente). La generación de calor en el interior es debido a las reacciones exotérmicas de hidrólisis e hidratación que sumado a la baja conductividad del hormigón hace que se acumule todo el calor en el interior de la mezcla provocando así un flujo de calor desde el interior de la estructura a la superficie exterior.

En contraposición, si se vierte más cantidad de agua en la superficie que la necesaria para que se produzcan las reacciones se invertirán las fuerzas capilares en el interior de los poros generando un vacío en la masa de este (Ortiz Lozano, 2005). En resumen, la retracción plástica y en consecuencia la generación de fisuras se verá acelerada por un aumento en la velocidad de reacción que implica una evaporación del agua.

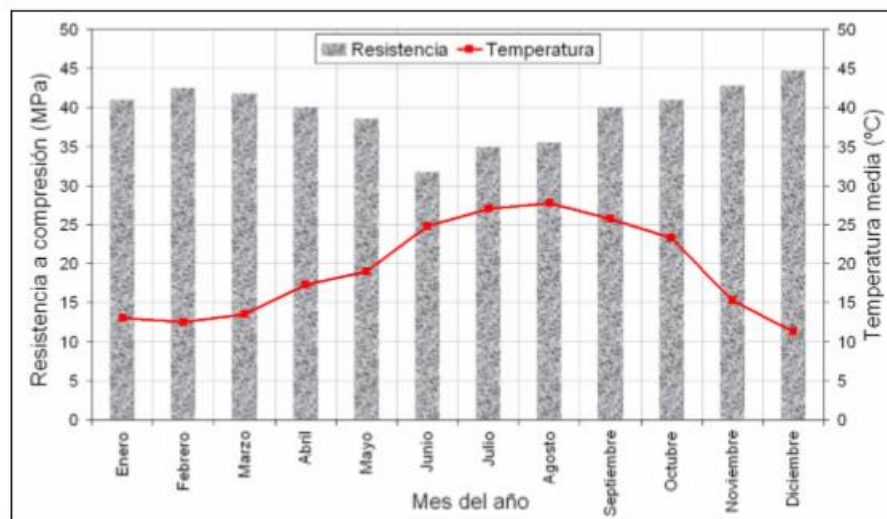
En el **ESTADO ENDURECIDO del hormigón**, se trabajará sobre las siguientes propiedades:

#### **1. Resistencia mecánica:**

La resistencia mecánica se define como la *“capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse”* (CONSTRUPEDIA 21219 - Enciclopedia de construcción., 2019). En este caso, además de las fuerzas

a las que esté sometida la estructura deberán soportar las condiciones climáticas exteriores.

En la siguiente imagen se puede ver cómo se ve afectada la resistencia a compresión del hormigón (en este caso H-300) en función de la temperatura, siendo en los meses de verano los que soportan menor resistencia (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979).



*Figura 6. Influencia de la  $T^{\circ}$  ambiental sobre la resistencia a compresión.*

Hay otros factores como la relación agua / cemento (a/c) o el tamaño de los áridos, la humedad relativa o el flujo de viento al que esté sometido la estructura que determinan la resistencia final del hormigón. En resumen, según van aumentando estos factores la porosidad del cemento será mayor y menos uniforme.

En caso de necesitar aumentar la proporción de agua durante la época seca en la mezcla, una posible solución sería utilizar un aditivo reductor de agua.

## 2. Durabilidad:

La durabilidad se define como la capacidad del hormigón para resistir efectos nocivos de los factores ambientales y funcionar satisfactoriamente bajo las condiciones de servicio (soroka, 1993). Un parámetro importante a tener en cuenta en relación con la durabilidad es la permeabilidad, que



estará determinada por la porosidad y la relación agua/cemento. El aumento de la porosidad y la cantidad de agua en la mezcla lleva asociado problemas de permeabilidad sobre las superficies del hormigón. En función del tamaño de los poros y su distribución la mezcla se verá afectada de diferente manera. Los poros de mayor tamaño influirán sobre el comportamiento mecánico y la permeabilidad del material, mientras que los poros de tamaño inferior influirán sobre la estabilidad volumétrica del conjunto, su contracción, fluencia y durabilidad (I. Molina Bas, 2008).

Dentro del agua contenida en la mezcla, se puede diferenciar el **agua sujeta o tensión capilar** contenida en los poros pequeños que cuya evaporación puede alterar la estabilidad volumétrica de la masa y el **agua libre** contenida en los poros de mayor tamaño cuya evaporación no produce alteraciones (I. Molina Bas, 2008).

En relación con los filtros de bio-arena, la estructura de hormigón es utilizada como contenedor de agua por eso la permeabilidad es un factor importante para tener en cuenta y que hoy por hoy nos ocasiona problemas de filtración por las paredes del conjunto exterior.

### 2.1.2. TEMPERATURA INICIAL DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA:

En una mezcla de cemento Portland con agua se genera una reacción química exotérmica que libera calor provocando un aumento de la temperatura interior del hormigón (Kosmatka & Wilson, 2011). El proceso de fraguado se acelerará debido a un aumento de la temperatura interior, provocando una pérdida de fluidez y una menor resistencia del hormigón (Neville, 1999).

Esta liberación de calor se produce en las primeras 24 horas, alcanzando las máximas temperaturas interiores y aumentando la velocidad de secado (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979) (Ageman, 2016). Por tanto, se debe intentar reducir al máximo la temperatura inicial de los componentes de la mezcla. Experimentos realizados sobre bloques de hormigón en países tropicales han demostrado que un  $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ , **entre el centro de la estructura y la superficie**, es el **límite** que garantiza que **no aparezcan grietas en la superficie** debido a la tensión térmica producida en el interior (Ageman, 2016).



La temperatura inicial de la mezcla estará marcada por la suma de las temperaturas que posean cada uno de los componentes. El componente mayoritario de la mezcla son los áridos y por tanto será el componente que marcará la temperatura inicial del hormigón.

Para calcular la temperatura inicial del hormigón fresco “ $T_i$ ” se utilizará la siguiente fórmula (Ortiz Lozano, 2005):

$$T_i = \frac{0,22 (T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w}{0,22 (W_a + W_c) + W_w}$$

#### *Ecuación 1*

Donde;

$T_i$ : temperatura inicial del hormigón (°C).

$T_a$ : temperatura de los áridos (°C).

$W_a$ : dosificación total de los áridos (kg/m<sup>3</sup>).

$T_c$ : temperatura del cemento (°C).

$W_c$ : dosificación total de cemento (kg/m<sup>3</sup>).

$T_w$ : temperatura del agua de amasado (°C).

$W_w$ : dosificación total de agua de amasado (kg/m<sup>3</sup>).

La diferencia del calor específico entre los áridos y el agua es 0.22 superior el de los áridos que el del agua (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979).

Cuanto mayor sea la temperatura inicial mayores serán las temperaturas máximas alcanzadas a las 24h.

### **2.1.3. HUMEDAD RELATIVA:**

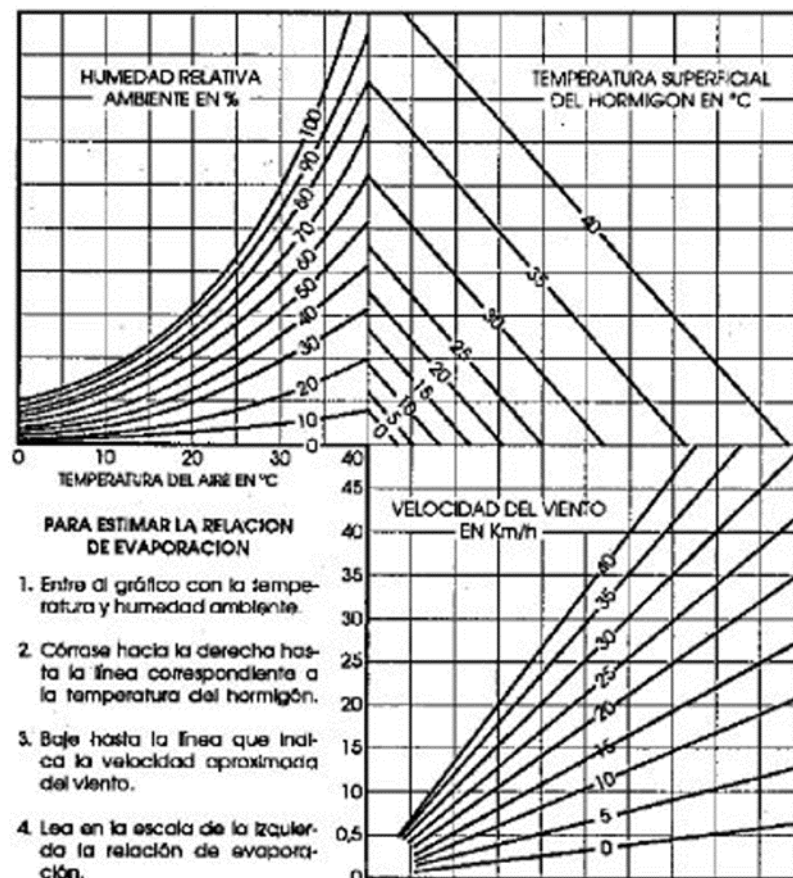
Entre los parámetros exteriores que actúan sobre la resistencia final de la estructura se encuentra la humedad relativa (HR%) puesto que la **resistencia obtenida bajo condiciones de aire seco es tres veces menor a la obtenida en condiciones de humedad**. Además, si se quiere realizar piezas de pequeño espesor el secado en condiciones de baja HR lleva asociado una caída en la resistencia.

Por otro lado, el gradiente de humedad generado entre el interior de la mezcla y la superficie será mayor en las épocas donde la humedad relativa sea baja. Más adelante veremos la influencia de los diferentes parámetros en el lugar de implantación Nikki (Benín).

### 2.1.4. VELOCIDAD DEL VIENTO:

En función de la velocidad del viento y grado de humedad que haya en ese momento en el ambiente, las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido se verán afectadas de forma diferente. Velocidades altas de viento lleva asociado una incompleta hidratación del cemento que hará que disminuyan las propiedades mecánicas y la impermeabilidad, provocando filtraciones por las paredes laterales de la estructura.

En la siguiente figura se puede ver como varía la evaporación del agua superficial del hormigón en función de la humedad relativa, la temperatura inicial del hormigón y la velocidad del viento (ACI Committee 305, 1991).



*Figura 7. Cálculo de la evaporación del agua superficial del hormigón.*

En el punto de: “Influencia de los factores ambientales en Nikki (Benín)” se calculará la evaporación del agua superficial del hormigón en la época seca y en la época húmeda.



### 2.1.5. RADIACIÓN SOLAR:

La intensidad con la que inciden los rayos de sol sobre la superficie influirá en la temperatura del hormigón tanto en estado fresco como endurecido. Por eso, durante el día aumentará la temperatura y será durante la noche cuando tenga lugar la pérdida de energía calorífica almacenada.

Como hemos visto, la temperatura inicial de los áridos marcará la temperatura inicial del hormigón y en caso de que los áridos estén sometidos a radiación solar previa a la mezcla puede aumentar su temperatura en torno a 4-5°C (Neville, 1999) (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979) y durante la noche los áridos no se enfrían tan rápido como el agua, por tanto, se recomienda enfriar los áridos lo máximo posible previo al mezclado.

#### **Puntos a tener en cuenta en relación con las condiciones ambientales:**

El objetivo de este punto es resumir las restricciones de trabajo que se deberán tener presentes cuando se trabaje con mezclas de hormigón:

- **Trabajar ante una temperatura exterior elevada disminuirá notablemente la resistencia final de la estructura** debido a una evaporación del agua libre. La evaporación del agua disminuirá la proporción entre el agua y el cemento provocando grietas en la superficie.
- Dicha evaporación de agua generará un flujo de moléculas de agua/aire en función del gradiente de humedad. Por tanto, **una humedad elevada hará que el gradiente de humedad sea inferior y aportará una mayor calidad a la estructura.**
- **La generación de poros** en la mezcla dependerá de la velocidad que controle las reacciones químicas en el interior. Lo ideal será trabajar en unas condiciones en las que **la velocidad de succión capilar sea baja** y el control de las reacciones esté marcado por la velocidad de secado. Además, un **incremento en la porosidad implica un aumento de la permeabilidad** lo que puede ocasionar problemas de filtración por las paredes del filtro.





- La retracción plástica y fisuración dependerá del gradiente de temperatura entre el interior de la mezcla y la superficie exterior. Los valores máximos de temperatura en el interior de la mezcla se alcanzan a las 24h después del mezclado. **Para evitar que se produzca una retracción plástica y fisuración será necesario que el incremento de temperatura no exceda los 20°C.**
- **La radiación solar puede aumentar alrededor de 4-5°C la temperatura de los áridos lo que tendrá efectos negativos puesto** que aumentará aún más la temperatura máxima alcanzada por la mezcla.

Por tanto, a la hora de trabajar con hormigón en zonas dónde las condiciones ambientales cambian a lo largo del año se deberá analizar la repercusión que tendrá sobre la mezcla final. Además, se ha demostrado que una temperatura ambiental elevada junto con, altas condiciones de viento y humedad relativa baja afectarán negativamente a las propiedades finales de la estructura.

**Características y proporciones empleadas en la mezcla de concreto actual:**

Tras comprobaciones experimentales previas realizadas por la ONG canadiense las proporciones empleadas para la construcción del filtro que dieron buenos resultados fueron siguientes:

**1 parte de cemento: 2 partes de arena: 1 parte de grava de 12mm: 1 parte de grava de 6mm.**

El problema viene en la proporción de agua a emplear ya que no se definió un valor concreto y se deja a decisión del fabricante.

Para la fabricación de los filtros se necesitan **0.06m<sup>3</sup> de hormigón/filtro** y las cantidades por utilizar en la mezcla fueron las siguientes:

- ✓ **12L de cemento.**
- ✓ **24L de arena 1mm.**
- ✓ **12L grava de 12mm.**
- ✓ **12L grava de 6mm.**
- ✓ **(7-10) L de agua amasado.**



**Nota:** Es necesario ajustar más la cantidad de agua a emplear, para que el margen de error sea menor, ya que una vez que se añade el agua no se puede recuperar la mezcla. Como se ha visto en los puntos anteriores la pérdida en las proporciones entre el agua y el cemento es un problema que afecta negativamente sobre la resistencia final de la estructura.

### 2.1.6. RELACIÓN AGUA / CEMENTO (a/c) (RIVERA, 1992):

La relación agua cemento a/c es inversamente proporcional a la resistencia y a la durabilidad. Gracias a la ley de Abrams se obtiene la siguiente expresión matemática:

$$R = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}$$

*Ecuación 2, (RIVERA, 1992)*

Donde;

R: resistencia a los esfuerzos mecánicos.

a/c: relación agua cemento.

k<sub>1</sub> y k<sub>2</sub>: valores que dependen de la calidad del cemento, edad del concreto y tipo de agregados.

Lo que se traduce en que a menor relación agua/cemento (a/c), mayor resistencia, más durabilidad y en general mejorarán todas las propiedades del concreto endurecido.

A continuación, se calculará la relación a/c (kg/kg) empleada, hay que tener en cuenta que el aporte de agua es elegido por el usuario en función de las necesidades del momento y deberá estar entre (7-10L).

**Cantidad de cemento empleada:**

$$\rho_c = 1440 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{kg de cemento} = 12L * \frac{1m^3}{1000L} * 1440 \frac{kg}{m^3} = 17.28kg$$

**Cantidad de agua empleada: (7-10L).**

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{kg de agua} = 10L * \frac{1m^3}{1000L} * 1000 \frac{kg}{m^3} = 10kg$$



### Relación a/c:

$$a/c = \frac{7kg}{17.28kg} = 0,41 \text{ (por debajo de lo recomendado)}$$

$$a/c = \frac{10kg}{17.28kg} = 0,57 \text{ (en el rango de valores recomendados)}$$

Los valores de **a/c óptimos** para una buena mezcla se encuentran entre **0.50-0.60** (Valcuende, Parra, & Benilloch, 2005) . Por eso, no se puede dejar a decisión del usuario la cantidad de agua a emplear en la mezcla. Puesto que estará ligado a problemas de adhesión a las paredes del molde, fisuras o fracturas durante el fraguado. Estas fisuras o fracturas se verán agravadas según aumente la Tª ambiental puesto que la evaporación de agua superficial está directamente relacionada.

#### **2.1.7. INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN NIKKI (BENÍN):**

A la hora de trabajar con hormigón, como ya se ha visto en los puntos anteriores, las condiciones ambientales tienen gran influencia sobre la calidad final del este. Por eso, es necesario conocer las condiciones a las que van a estar expuestos los materiales y las temperaturas máximas alcanzadas durante la evolución de las reacciones químicas.

En este apartado se pretenden evaluar las condiciones ambientales de Nikki (Benín) y su influencia sobre la estructura final en las diferentes épocas del año. Nikki se caracteriza por tener un clima tropical, la temperatura media anual ronda los 26.1°C y se establecen dos estaciones muy diferenciadas por las lluvias. Época húmeda (julio – septiembre) y época seca (diciembre – febrero). Siendo enero el mes más seco con 1m<sup>2</sup> de precipitaciones mientras que en septiembre se llegan a alcanzar de media los 247m<sup>2</sup> (CLIMATE DATA [Datos climáticos mundiales], 2020) (Weather Atlas, 2019-2020).

Para conocer el comportamiento de los materiales, se calculará tanto en época seca como en época húmeda los siguientes valores:

- **Temperatura inicial** de la mezcla.
- **Temperatura máxima** alcanzada por la mezcla, debido al incremento adiabático del hormigón en las primeras 24h.
- **Cantidad de agua evaporada** por la superficie del hormigón.

A la hora realizar los cálculos, se utilizarán los valores más desfavorables tanto en época seca como en época húmeda. Por eso, se usarán las temperaturas máximas en cada una de ellas. El objetivo de este apartado es conocer la influencia de los factores ambientales en la evaporación superficial del agua y, además, evaluar si el incremento de temperatura entre el interior y el exterior de la mezcla supera los límites establecidos. (Sí  $\Delta T_{\text{int-ext}} > 20^{\circ}\text{C} \rightarrow$  Formación de grietas en la superficie exterior de la estructura).

En la siguiente tabla se pueden ver los valores ambientales utilizados para el cálculo de las temperaturas, se han cogido entre 3 y 4 valores por mes y se ha hecho la media para cada uno de ellos. Todos los valores son del año 2019 y hay que tener en cuenta que no hay mucha información sobre la región por lo que los valores pueden variar ligeramente en función de la fuente utilizada.

	TEMPERATURA DÍA (°C)	TEMPERATURA NOCHE (°C)	$\Delta T$ (°C)	T (°C) media	Humedad relativa (%)	Viento en (km/h)	Tiempo expuesto al sol (H):
ENERO	34,00	20,00	14,00	27,00	2,75	12,60	11,37
FEBRERO	36,00	22,00	14,00	29,00	12,66	12,33	11,49
MARZO	37,00	24,00	13,00	30,50	41,00	12,35	12,08
ABRIL	36,60	25,00	11,60	30,80	75,00	13,10	12,20
MAYO	34,00	24,00	10,00	29,00	95,66	12,33	12,34
JUNIO	32,00	23,00	9,00	27,50	99,00	11,23	12,41
JULIO	29,50	22,00	7,50	25,75	100,00	10,53	12,37
AGOSTO	29,00	22,00	7,00	25,50	100,00	9,73	12,26
SEPTIEMBRE	30,00	22,00	8,00	26,00	100,00	8,40	12,44
OCTUBRE	31,75	22,00	9,75	26,88	86,00	8,46	11,83
NOVIEMBRE	34,00	22,00	12,00	28,00	37,30	9,83	11,41
DICIEMBRE	34,00	19,50	14,50	26,75	5,25	11,60	22,68
ÉPOCA HÚMEDA:	31,04	22,50	8,54	26,77	96,78	10,11	12,28
ÉPOCA SECA:	35,27	22,08	13,18	28,68	28,99	11,97	13,54

Tabla 1. Valores ambientales Nikki (Benín).

CONDICIONES AMBIENTALES (ÉPOCA SECA) (NOVIEMBRE-ABRIL)		CONDICIONES AMBIENTALES (ÉPOCA HÚMEDA) (MAYO-OCTUBRE)	
T <sup>a</sup> amb (DÍA) °C	35,27	T <sup>a</sup> amb (DÍA) °C	31,04
T <sup>a</sup> amb (NOCHE) °C	22,08	T <sup>a</sup> amb (NOCHE) °C	22,50
$\Delta T$ (°C)	13,18	$\Delta T$ (°C)	8,54
HR(%)	28,99	HR(%)	96,78
Velocidad Viento (km/h)	11,97	Velocidad Viento (km/h)	10,11

Tabla 2. Resumen valores ambientales Nikki época seca y húmeda.



**CÁLCULOS PARA ÉPOCA SECA** (INGEMECÁNICA [Tablas de Pesos Específicos y Densidades de Materiales], 2019)

**DENSIDADES:**

pa (densidad áridos):	1500kg/m <sup>3</sup>
pw (densidad agua):	1000kg/m <sup>3</sup>
pc (densidad cemento):	1600kg/m <sup>3</sup>

**CANTIDADES EMPLEADAS:**

Wa (densidad áridos):	72kg
Ww (densidad agua):	10kg
Wc (densidad cemento):	19,2kg

• **Temperatura inicial de la mezcla de hormigón (Ti):**

$$Ti(^{\circ}C) = \frac{0.22(TaWa + TcWc) + TwWw}{0.22(Wa + Wc) + Ww}$$

$$= \frac{0.22(40.27 * 72 + 35.27 * 19.2) + 28.67 * 10}{0.22(72 + 19.2) + 10} = 35.71^{\circ}C$$

\*Nota: valores temperaturas empleadas.

$T_a^a = T_{amb}^a + 5^{\circ}C$  calentamiento directo debido a la radiación solar.

$T_c^a = T_{amb}^a$

$T_w^a = \frac{T_{amb}^a D + T_{amb}^a N}{2}$

• **Temperatura máxima de la mezcla a las 24h (TImáx):**

El valor de la temperatura máxima alcanzada por la mezcla de hormigón vendrá determinado por la reacción de hidratación del hormigón y la relación a/c empleada, en las condiciones de trabajo será necesario estudiar el comportamiento de la mezcla en condiciones no adiabáticas y no isotérmicas puesto que se intercambiará calor con el exterior y la  $T_{amb}^a$  variará a lo largo del día.

La temperatura máxima de la mezcla se alcanzará en las 24 primeras horas y se puede calcular según la siguiente fórmula (Ortiz, Aguado, Agulló, & T. García, 1970-1979):

$$T_{hn} = T_i + T_{han} - \left[ \frac{k_h S_h}{V_h c_h \rho} \sum_{n=0}^{n-t} (T_{hn-1} - T_n) \Delta t \right]$$

**Ecuación 3**, (Ortiz Lozano, 2005)



Donde;

$T_{hn}$ : temperatura del hormigón, en el momento 'n' ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_i$ : temperatura inicial del hormigón ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{han}$ : temperatura adiabática del hormigón en el momento 'n' ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$k_h$ : conductividad térmica del hormigón fresco ( $\text{kcal/hr m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

$S_h$ : superficie de transferencia térmica ( $\text{m}^2$ ).

$V_h$ : volumen de hormigón ( $\text{m}^3$ ).

$C_h$ : calor específico del hormigón ( $\text{kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ ).

$\rho$ : peso específico del hormigón ( $\text{kg/m}^3$ ).

$T_n$ : temperatura ambiental, en el momento 'n' ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T$  (adiabática del hormigón).

El  $\Delta T$  (adiabática del hormigón), se puede calcular con la siguiente fórmula: (Newman & Choo, *Advanced Concrete Technology Processes.*, 2003):

$$\Delta T = \frac{C \cdot H}{C_H \cdot \rho}$$

*Ecuación 4, (Newman & Choo, Advanced Concrete Technology Processes., 2003)*

Donde;

C: masa total de cemento ( $\text{kg/m}^3$ ).

H: calor de hidratación del cemento ( $\text{kcal/kg}$ ).

$C_H$ : calor específico del hormigón ( $\text{kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ ).

$\rho$ : peso específico del hormigón ( $\text{kg/m}^3$ ).

*Valores utilizados:*

Cálculo de "C" masa total de cemento ( $\text{kg/m}^3$ )

Cantidad de cemento empleada = 12L.

$\rho_c = 1440 \text{ kg/m}^3$

$$\text{kg de cemento} = 12L * \frac{1\text{m}^3}{1000L} * 1440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 17.28\text{kg}$$

$$C_c = \frac{17.28 \text{ kg}}{0.06\text{m}^3} = 288\text{kg/m}^3$$



$H_c$  (CONSTRUCTOR CIVIL [Calor de hidratación del cemento Portland], 2010) = 80-100 kcal/kg.

$C_H = 0.16$  kcal/kg °C

$\rho_H = 2300$  kg/ m<sup>3</sup>

$$\Delta T_{int} = \frac{C_c * H_c}{C_H * \rho_H} = \frac{288 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ kcal/kg}}{0.16 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 2300 \text{ kg/m}^3} = 78.26 \text{ °C}$$

$T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T = 35.71 + 78.26 = 113.97 \text{ °C}$  ( $T^a$  adiabática del hormigón pasadas 24h desde el mezclado de los componentes).

Por tanto, la  $T^a$  del hormigón pasada 24h será la siguiente:

$$T_{Hn} = X = T_i + T_{Ha(n)} - \left[ \frac{K_H * S_H}{V_H * C_H * \rho_H} \sum_{n=0}^{n=t} (T_{Hn-1} - T_n) \Delta t \right] = 35.71 + 113.97 - \frac{1.204 * 1.23}{0.06 * 0.16 * 2300} * [(X - 35.27) - (35.53 - 35.27)] * 24$$

$$T_{Hn} = X = 79.29 \text{ °C (EN AMBIENTE SECO)}$$

Valores utilizados:

$T_i = 35.71 \text{ °C}$

$T_{Ha(n)} = 113.97 \text{ °C}$

$K_H = 1.204 \text{ kcal/h m}^2 \text{ °C}$

$S_H =$  Superficies de transferencia térmica (pared lateral del molde exterior)  
 $= 2 * (0.940 \text{ m} * 0.350 \text{ m}) + 2 * (0.940 \text{ m} * 0.305 \text{ m}) = 1.23 \text{ m}^2$

$V_H = 0.06 \text{ m}^3$

$\Delta t = 24 \text{ h}$ .

La  $T^a$  alcanzada por el hormigón es demasiado elevada a continuación, se calculará la cantidad de cemento a utilizar fijando un  $\Delta T_H = 20 \text{ °C}$ .

- **Cantidad de cemento a utilizar en época seca:**

Para evitar la formación de grietas durante la época seca sería necesaria ajustar la cantidad de cemento a emplear en este caso:

$$\Delta T_{\text{máx mezcla}} = 35.71 \text{ °C} + 20 \text{ °C} = 55.71 \text{ °C}.$$



$$C_c = \frac{\Delta T * C_H * \rho_H}{H_c} = \frac{55.71^{\circ}\text{C} * 0.16 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * 2300 \text{ kg/m}^3}{100 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 205 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{kg de cemento} = \frac{205 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 0.06 \text{ m}^3 = 12.3 \text{ kg}$$

Por tanto, **se recomienda una reducción de cemento de 5kg durante la época seca**. Este valor se podría ajustar en función del mes en el que se vayan a fabricar los filtros.

- **Relación a/c:**

$$a/c = \frac{7-1.5}{12.3} = 0.45 \text{ (por debajo de lo recomendado)}$$

$$a/c = \frac{10-1.5}{12.3} = 0.69 \text{ (por encima de lo recomendado)}$$

- **Evaporación del agua superficial:**

Evaporación superficial del agua libre de un **15%**.



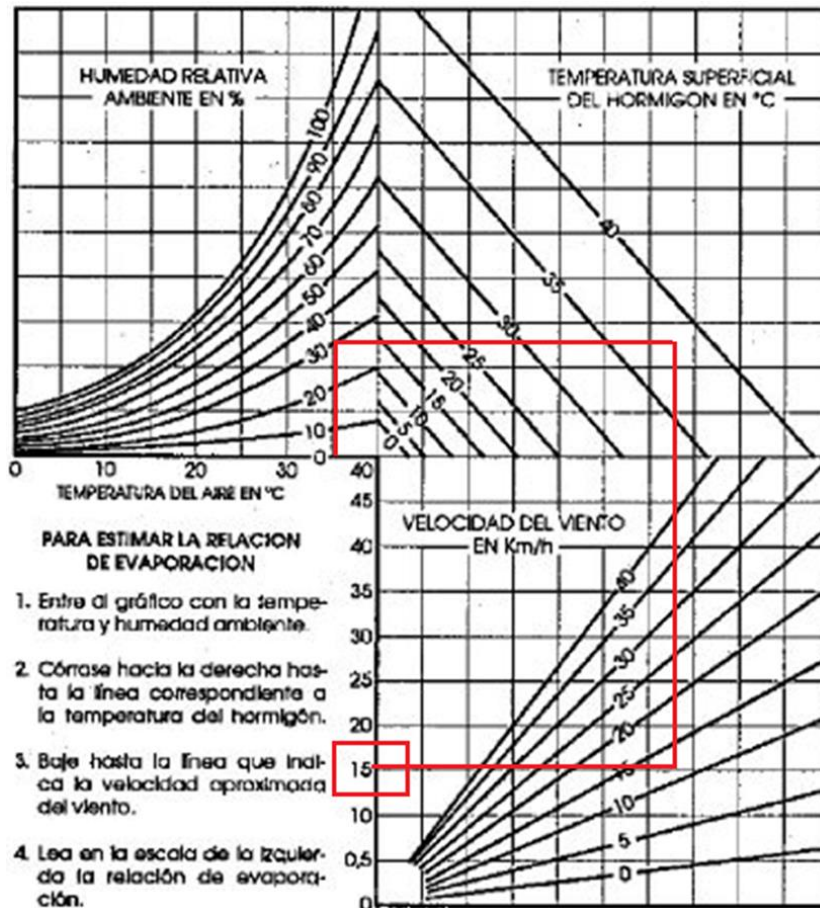


Figura 8. Cálculo de la evaporación del agua superficial en época húmeda.

### CÁLCULOS PARA ÉPOCA HÚMEDA:

Se han utilizado las mismas fórmulas tanto en época seca como en época húmeda.

- **Temperatura inicial de la mezcla de hormigón (Ti):**

$$\begin{aligned}
 Ti(^{\circ}C) &= \frac{0.22(TaWa + TcWc) + TwWw}{0.22(Wa + Wc) + Ww} \\
 &= \frac{0.22(36.04 * 72 + 31.04 * 19.2) + 26.77 * 10}{0.22(72 + 19.2) + 10} = 32.25^{\circ}C
 \end{aligned}$$

\*Nota: valores temperaturas empleadas.

$T_a = T_{amb} + 5^{\circ}C$  calentamiento directo debido a la radiación solar.



$$T_c^a = T_{amb}^a$$

$$T_w^a = \frac{T_{amb}^a D + T_{amb}^a N}{2}$$

- **Temperatura máxima de la mezcla a las 24h ( $T_{i\text{máx}}$ ):**

La temperatura máxima del hormigón se calculará de la siguiente manera:

$$T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T \text{ (adiabática del hormigón).}$$

Donde el  $\Delta T$  (adiabática del hormigón), es el mismo valor que el calculado para época seca = **78.26°C**

Por tanto,  $T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T = 32.25 + 78.26 = \mathbf{110.51^\circ C}$  ( $T^a$  adiabática del hormigón pasadas 24h desde el mezclado de los componentes).

Por tanto, la  $T^a$  del hormigón pasada 24h será la siguiente:

$$T_{Hn} = X = T_i + T_{Ha(n)} - \left[ \frac{K_H * S_H}{V_H * C_H * \rho_H} \sum_{n=0}^{n=t} (T_{Hn-1} - T_n) \Delta t \right] = 32.25 + 110.51 - \frac{1.204 * 1.23}{0.06 * 0.16 * 2300} * [(X - 31.04) - (32.25 - 31.04)] * 24$$

$$T_{Hn} = X = \mathbf{74.60^\circ C \text{ (EN AMBIENTE HÚMEDO)}}$$

Al igual que en época seca la  $T^a$  alcanzada por el hormigón es demasiado elevada así que se calculará la cantidad de cemento a utilizar estableciendo un  $\Delta T_H = 20^\circ C$ .

- **Cantidad de cemento a utilizar en época húmeda:**

Para evitar la formación de grietas durante la época seca sería necesaria ajustar la cantidad de cemento a emplear en este caso:

$$\Delta T \text{ máx mezcla} = 32.25^\circ C + 20^\circ C = \mathbf{52.25^\circ C.}$$

$$C_c = \frac{\Delta T * C_H * \rho_H}{H_c} = \frac{52.52^\circ C * 0.16 \frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} * 2300 \text{ kg/m}^3}{100 \frac{kcal}{kg}}$$

$$= \mathbf{192.28 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{kg de cemento} = \frac{192.28\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.06\text{m}^3 = 11.53\text{kg}$$

Por tanto, **se recomienda una reducción de cemento de 5.5kg durante la época húmeda**. Este valor se podría ajustar en función del mes en el que se vayan a fabricar los filtros.

- **Relación a/c:**

$$a/c = \frac{7-0.5}{11.53} = 0.56 \text{ (dentro del rango establecido)}$$

$$a/c = \frac{10-0.5}{11.53} = 0.82 \text{ (por encima de lo recomendado)}$$

- **Evaporación del agua superficial:**

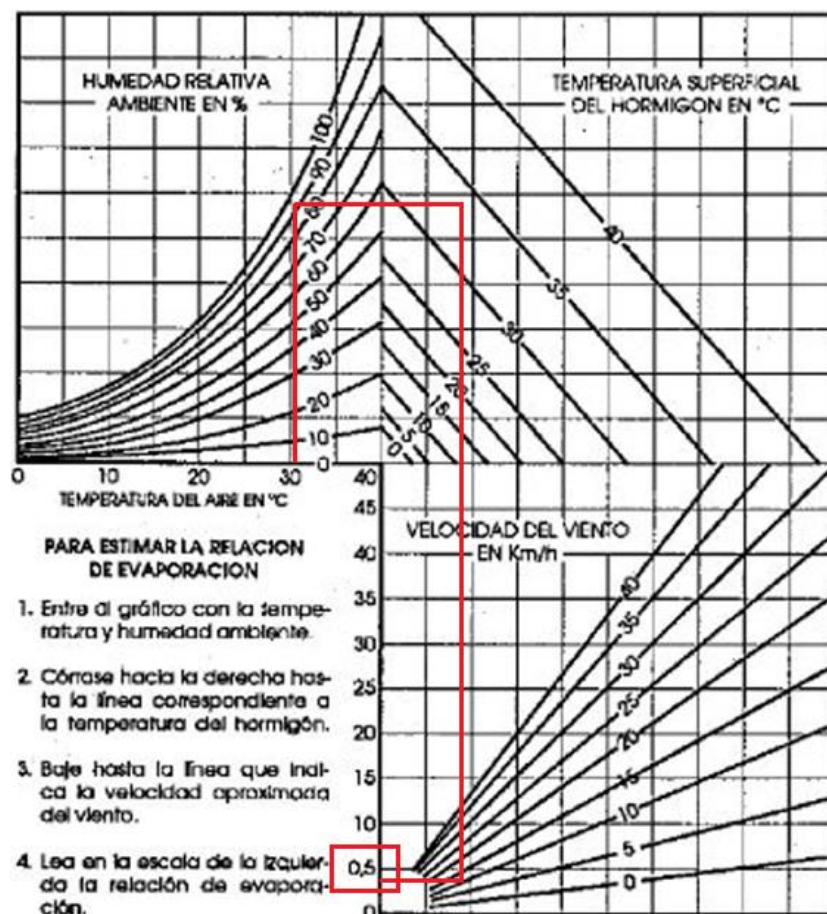


Figura 9. Cálculo de la evaporación del agua superficial en época húmeda.



Evaporación superficial del agua libre de un **0.5%**.

**Por tanto, comparando la evaporación superficial en las diferentes épocas del año se puede ver que en época seca se evaporará un 10% más de agua superficial que en época húmeda y, será necesario un aporte mayor de agua a la mezcla.**

Tras analizar los valores en las dos épocas del año se aconseja que **durante la época seca no se fabrique la estructura del filtro de bioarena** debido a que, por un lado, la temperatura exterior es muy elevada y se recomienda no estar en ambientes con una  $T^a_{amb} > 30^{\circ}C$ . Por otro lado, en esta época se pierde la relación a/c tras la evaporación del agua superficial. **De esta manera la fabricación del contenedor estaría acotada entre los meses de mayo a octubre.**

A continuación, se van a calcular los mismos valores, pero haciendo una media con los datos ambientales en época húmeda, y así podernos hacer una idea de cómo se comportaría el hormigón en esta época del año:

Se han utilizado las mismas fórmulas tanto en época seca como en época húmeda.

**CÁLCULOS PARA ÉPOCA HÚMEDA (media de valores):**

CONDICIONES AMBIENTALES (ÉPOCA HÚMEDA) (MAYO-OCTUBRE)	
T <sup>º</sup> amb (DÍA) °C	31,04
T <sup>º</sup> amb (NOCHE) °C	22,50
ΔT (°C)	8,54
HR(%)	96,78
Velocidad Viento (km/h)	10,11
Horas de exposición al sol:	12,28

*Tabla 3. Condiciones ambientales época húmeda.*

**DENSIDADES:**

pa (densidad áridos): 1500kg/m3  
 pw (densidad agua): 1000kg/m3  
 pc (densidad cemento): 1600kg/m3

**CANTIDADES EMPLEADAS:**

Wa (densidad áridos): 72kg  
 Ww (densidad agua): 10kg  
 Wc (densidad cemento): 19,2kg



- **Temperatura inicial de la mezcla de hormigón (Ti):**

$$\begin{aligned}
 T_i(^{\circ}\text{C}) &= \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w}{0.22(W_a + W_c) + W_w} \\
 &= \frac{0.22(31.04 * 72 + 31.04 * 19.2) + 26.77 * 10}{0.22(72 + 19.2) + 10} = 29.61^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

- **Temperatura máxima de la mezcla a las 24h (Ti<sub>máx</sub>):**

La temperatura máxima del hormigón se calculará de la siguiente manera:

$$T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T \text{ (adiabática del hormigón).}$$

Donde el  $\Delta T$  (adiabática del hormigón), es el mismo valor que el calculado para época seca = **78.26°C**

Por tanto,  $T_{Ha(n)} = T_i + \Delta T = 29.61 + 78.26 = 107.88^{\circ}\text{C}$  ( $T^a$  adiabática del hormigón pasadas 24h desde el mezclado de los componentes).

Por tanto, la  $T^a$  del hormigón pasada 24h será la siguiente:

$$\begin{aligned}
 T_{Hn} = X &= T_i + T_{Ha(n)} - \left[ \frac{K_H * S_H}{V_H * C_H * \rho_H} \sum_{n=0}^{n=t} (T_{Hn-1} - T_n) \Delta t \right] = 29.61 + 107.88 - \\
 &\frac{1.204 * 1.23}{0.06 * 0.16 * 2300} * [(X - 31.04) - (29.61 - 31.04)] * 24
 \end{aligned}$$

$$T_{Hn} = X = 70.95^{\circ}\text{C} \text{ (EN AMBIENTE HÚMEDO)}$$

Al igual que en época seca la  $T^a$  alcanzada por el hormigón es demasiado elevada así que se calculará la cantidad de cemento a utilizar estableciendo un  $\Delta T_H = 20^{\circ}\text{C}$ .

- **Cantidad de cemento a utilizar en época húmeda:**

Para evitar la formación de grietas durante la época seca sería necesaria ajustar la cantidad de cemento a emplear en este caso:

$$\Delta T_{\text{máx mezcla}} = 29.61^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 49.61^{\circ}\text{C}.$$

$$C_c = \frac{\Delta T * C_H * \rho_H}{H_c} = \frac{49.61^{\circ}C * 0.16 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * 2300 kg/m^3}{100 \frac{kcal}{kg}}$$

$$= 182.56 kg/m^3$$

$$kg \text{ de cemento} = \frac{187.68 kg}{m^3} * 0.06 m^3 = 10.95 kg$$

Por tanto, **se recomienda una reducción de cemento de 6.24kg durante la época húmeda.** Este valor se podría ajustar en función del mes en el que se vayan a fabricar los filtros.

- **Relación a/c:**

$$a/c = \frac{7-0.5}{10.95} = 0.59 \text{ (dentro del valor recomendado)}$$

$$a/c = \frac{10-0.5}{10.95} = 0.86 \text{ (por encima de lo recomendado)}$$

- **Evaporación del agua superficial:**

Evaporación superficial del agua libre de un **0.5%**, mismo valor que el calculado anteriormente para época húmeda.

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS:**

	ÉPOCA SECA:	ÉPOCA HÚMEDA:	ÉPOCA HÚMEDA (MEDIA):
Tª ambiental. (°C)	35,27	31,04	31,04
Tª inicial del hormigón. (°C)	35,71	32,25	29,61
Tª máxima del hormigón. (°C)	79,29	74,6	70,95
% evaporación agua superficial.	15	5	5
Cantidad de cemento recomendada. (kg)	12,3	11,53	10,95
ΔT adiabático del hormigón. (°C)	55,71	52,25	49,61
a/c (7Litros).	0,45	0,56	0,59
a/c (10Litros).	0,69	0,82	0,86

*Tabla 4. Resumen de resultados en las diferentes épocas del año.*



Como se puede ver en la tabla anterior, la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del hormigón es demasiado elevada lo cual afecta negativamente a las propiedades finales de la estructura. Por otro lado, si se fija el valor de la temperatura máxima alcanzada por el hormigón disminuye la cantidad de cemento empleada influyendo directamente en la relación a/c de la mezcla. Los valores marcados en rojo se encuentran fuera del rango óptimo establecido.

Una vez analizados los resultados las recomendaciones que se podrían dar al usuario son las siguientes:

- **Evitar realizar la fabricación de los filtros durante época seca.**
- **La relación a/c a debe estar entre un 0.50-0.60** teniendo en cuenta el % de evaporación del agua superficial en las diferentes épocas del año.
- Durante la época húmeda si se mantienen la relación a/c se puede probar con las cantidades de ambos componentes aumentando o disminuyendo cada uno de ellos. **En este caso recomendamos para una relación a/c = 0.5; C = 10.95kg; a = 5.475kg.**

Aunque nuestra principal recomendación es no fabricar durante la época seca, **es posible que el fabricante tenga que realizar el mismo número de filtros a lo largo de todo el año** debido que pueda existir una mayor demanda en los meses donde las precipitaciones son escasas. En la siguiente tabla se **recomiendan las proporciones a mantener en función de la época del año en la que se encuentre.**

MES	ÉPOCA SECA						ÉPOCA HÚMEDA					
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Tª ambiental Día [°C]	34	34	34	36	37	36	34	32	29,5	29	30	31
Tª ambiental Noche [°C]	22	19,5	20	22	24	25	24	23	22	22	22	22
Media Tª ambiental [°C]	28	26,75	27	29	30,5	30,5	29	27,5	25,75	25,5	26	26,5
Evaporación agua superficial. [%]	12	15	16	17	15,5	11	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5
Relación a/c	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cantidad agua empleada [kg]	7,04	6,80	6,72	6,64	6,76	7,12	7,96	7,97	7,97	7,98	7,98	7,96
Cantidad de cemento emplado [kg]	14,08	13,60	13,44	13,28	13,52	14,24	15,92	15,94	15,94	15,95	15,95	15,92
Cantidad de cemento emplado [kg/m3]	234,67	226,67	224,00	221,33	225,33	237,33	265,33	265,60	265,60	265,87	265,87	265,33
Tª inicial del hormigón. [°C]	37,14	36,69	36,78	38,93	40,18	39,46	37,50	35,53	33,12	32,67	33,56	34,46
ΔT adiabático del hormigón. [°C]	63,77	61,59	60,87	60,14	61,23	64,49	72,10	72,17	72,17	72,25	72,25	72,10
Tª adiabática máxima del hormigón. [°C]	100,91	98,29	97,65	99,07	101,41	103,95	109,60	107,70	105,29	104,92	105,81	106,56
Tª máxima hormigón a las 24h. [°C]	75,81	74,36	74,20	76,89	79,04	79,30	79,49	76,80	73,46	72,87	74,11	75,29

*Tabla 5. Recomendaciones de proporciones en las diferentes épocas del año.*

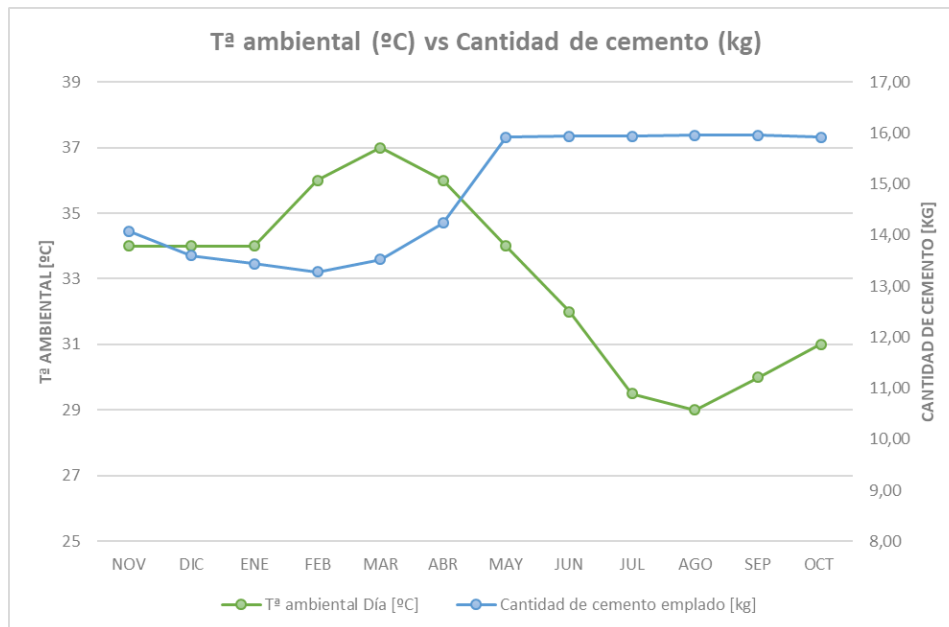


Figura 10. Tª ambiental (°C) vs cantidad de cemento empleada en (kg).

La variación en la cantidad de cemento y agua viene determinada por la cantidad de agua evaporada a lo largo del año. En este caso **se ha fijado un aporte de agua de 8L**. Como el porcentaje de evaporación de agua es mayor durante la época seca se necesita menor cantidad de cemento para **mantener las proporciones a/c = 0.5** siendo la mezcla mucho más estable durante los meses húmedos.

## 2.2. OTROS FACTORES POR CONTROLAR EN LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN:

Una vez analizada la influencia de los factores externos sobre las proporciones en la mezcla de hormigón **será interesante conocer las fuerzas de contacto generadas entre el concreto y el molde**. Además, a lo largo de este apartado, **se buscarán aditivos que puedan facilitar la extracción de la estructura e intentar disminuir la porosidad final mediante un sistema de vibrado previo al endurecimiento del concreto**.

### 2.2.1. PROPIEDADES DE LA MEZCLA ACTUAL FRENTE A LAS DE LA MEZCLA ADAPTADA A LAS DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO:

A lo largo de este año y el pasado se ha podido hablar con el fabricante de los filtros en diferentes ocasiones para intentar recopilar la mayor cantidad de información posible. Uno de los datos que más nos llamó la atención fue su insistencia en aumentar la cantidad de cemento en la





mezcla. Este dato de querer aumentar la cantidad de cemento nos indica que la relación a/c se ha perdido y que se está trabajando por encima del rango de valores establecidos. Como se vio en el apartado anterior cuanto mayor sea la cantidad de cemento utilizada mayor será la Tª final alcanza por la mezcla lo cual será perjudicial en el estado final una vez que la mezcla se endurezca.

Tras el análisis de los filtros fabricados hasta el momento se puede llegar a la conclusión de que **la mezcla se caracteriza por tener una baja resistencia final** debido a las altas temperaturas ambientales a las que está sometida. Además, la **generación de poros** es muy elevada tanto en la superficie como en el interior haciendo que el conjunto sea aún más frágil. El flujo de partículas será aún mayor según aumente el gradiente de humedad.

Comparando las propiedades finales de las mezclas que se obtendrían si la mezcla se adapta a las diferentes épocas del año, se refleja que **durante la época seca la resistencia final disminuirá y el gradiente de humedad será aún mayor aumentando así la retracción plástica y la fisuración**. Estos **problemas disminuirán durante la época húmeda, aunque las altas temperaturas del clima tropical seguirán afectando negativamente a la resistencia final**.

Los mayores defectos encontrados en los filtros son la presencia de poros, burbujas o descamación y descascarado. Las burbujas suelen aparecer en mezclas con alto contenido de arena, moldes no absorbentes o con un vibrado inadecuado mientras que, el escamado se genera cuando el secado se ha producido muy rápido o en hormigones de baja resistencia (López, Tobes, Giaccio, & Zerbino., 2008).

Por tanto, **será esencial buscar un aditivo que aumente la resistencia final de la mezcla, la durabilidad y la plasticidad evitando así la generación final de poros** que es hoy en día es lo que mayor problema nos da llegando incluso a tener filtraciones de agua por las paredes del recipiente.

### 2.2.2. TIPOS DE ADITIVOS A EMPLEAR PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FINALES DE LA MEZCLA:

Los aditivos químicos son esenciales para **hormigones autocompactantes (HAC)** definidos como un *“tipo de hormigón que a*



*consecuencia de una dosificación estudiada y de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación” ((EHE-08) Anejo 17 [Instrucción de hormigón estructural ], 2008).*

Los filtros de bio-arena se compactan por la acción de su propio peso así que, en principio, el comportamiento de la mezcla se podría parecer al comportamiento de un hormigón autocompactante (HAC).

Los aditivos son aquellas sustancias o productos incorporados al hormigón antes o durante el amasado en una proporción mayor del 10% del peso del cemento, produciendo la modificación de algunas de las características o del comportamiento del hormigón en sus diferentes estados (Mansilla Torres, 2003).

- **Aditivos superplastificantes:**

Su característica principal es que son capaces de aumentar la trabajabilidad de la mezcla manteniendo una baja relación agua/cemento. En función del tipo de aditivo son capaces de reducir el contenido de agua desde un 10-40% ((EHE-08) Anejo 17 [Instrucción de hormigón estructural ], 2008).

El aumento de la trabajabilidad es consecuencia de la liberación del agua atrapada en los flóculos o aglomerados de partículas de cemento.

- **Aditivos modulares de viscosidad o cohesionantes:**

Serán necesarios cuando la mezcla no disponga de finos suficientes, aumentando así la cohesión entre las partículas de la mezcla. Estos aditivos suelen ser derivados de la celulosa y de polisacáridos. La creación de puentes de hidrógeno entre los polímeros y el agua hacen que no se pierda agua por exudación, por tanto, aumentando la viscosidad de la mezcla.

El rango de adición suele ser entre un 0.05%-2% pero siempre atendiendo a las consideraciones del fabricante ((EHE-08) Anejo 17 [Instrucción de hormigón estructural ], 2008).



- **Aditivos reductores de agua:**

Son aquellos que se utilizan para reducir la relación agua/cemento de la mezcla, disminuir la cantidad de cemento y aumentar el asentamiento. Esta reducción del agua puede variar entre un 5-10% que aumentará el valor de la resistencia final aproximadamente entre un 5%-10% (PCA Portland Cement Association, 2004).

Por otro lado, una reducción del contenido de agua puede llegar a aumentar la retracción por secado o contracción por desecación.

- **Aditivos retardadores:**

Aditivos destinados a retrasar la tasa de fraguado del concreto y disminuir la pérdida de revenimiento, muy útiles en ambientes con altas temperaturas. Los aditivos retardadores pueden compensar el efecto acelerador de la temperatura sobre el fraguado del concreto, retrasar el fraguado ante condiciones de colocación poco usuales o técnicas con acabados especiales (PCA Portland Cement Association, 2004).

- **Aditivos reductores de retracción (contracción):**

Los aditivos reductores de retracción proporcionan una disminución de la retracción por secado del hormigón entre un 30-50%. La retracción plástica es un fenómeno que se produce debido a elevados contenidos de cemento junto con una baja relación agua/cemento, por eso, se recomienda el uso de este tipo de aditivos. Durante el mezclado se debe tener en cuenta que el tiempo de fraguado puede ser mayor (PCA Portland Cement Association, 2004).

De los diferentes tipos de aditivos expuestos hay varias opciones que podrían funcionar bien con nuestra mezcla, se destacan los siguientes:

- **Aditivos superplastificantes** → Disminuyen la porosidad y eliminan la necesidad de hacer un vibrado sobre la mezcla final.
- **Aditivos reductores de agua** → Aumentan la resistencia final de la estructura.
- **Aditivos retardadores** → muy útiles en ambientes con altas temperaturas, aunque retrasen la tasa de fraguado.



### 2.2.3. FUERZAS Y ESFUERZOS QUE DEBE SOPORTAR LA MEZCLA:

Durante la fabricación de los filtros, se detectó que el **hormigón no soportaba igual los esfuerzos de tracción que los deslizamientos sobre placas laterales de acero**. El molde utilizado para la construcción del recipiente está formado por dos partes una interna y otra externa. La parte externa del molde genera una fuerza de tracción cuando se separa mientras que la parte interna ejerce fuerza de deslizamiento al desplazarse por el interior de este. Hasta el momento los problemas principales de adhesión se han producido con las paredes internas.

Un **problema** que pueden presentar los **moldes deslizantes** es su **deformación**, debido a que **las fuerzas no se distribuyen uniformemente alrededor del perímetro del molde**. La deformación es debida a presiones de concreto y sobreesfuerzos en el deslizamiento que terminan haciendo que el molde quede inutilizado.

Como se ha visto en el apartado anterior, se baraja la opción de usar agentes desmoldantes que faciliten el deslizamiento entre las placas interiores. Se debe tener especial cuidado con los aditivos que se utilizan como sustituyentes ya que, por ejemplo, un aditivo que aumente la viscosidad de la mezcla fresca implica un aumento de la adherencia entre la pared de acero y el hormigón lo que provoca arrastres superficiales (Frías., 2016).

Al trabajar con un sistema de encofrado tradicional se puede barajar la opción de utilizar un aditivo que mejore las propiedades de la mezcla y facilite la extracción de la parte interna del molde.

### 2.2.4. USO DE ADITIVOS O AGENTES DESMOLDANTES PARA MEJORAR LA EXTRACCIÓN DEL RECIPIENTE:

A la hora de diseñar el recipiente es muy importante conseguir un buen acabado superficial, este acabado no sólo dependerá del diseño del hormigón (tipo de cemento, adiciones, proporciones de los componentes, etc.) o del procedimiento de dosificación de cada uno de ellos sino también de los encofrados y del agente desmoldante (BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC., 2005). Hay que tener en cuenta que, el recipiente debe ser lo suficientemente atractivo para generar un mayor interés por parte de los compradores.



El molde empleado hasta el momento está fabricado en acero, este tipo de moldes son considerados como encofrados no absorbentes permitiendo un mayor mantenimiento y reutilización (López, Tobes, Giaccio, & Zerbino., 2008). Aunque, por otro lado, la baja permeabilidad del material hará que incremente el número de burbujas y se produzcan otros defectos superficiales.

Para evitar este tipo de defectos se podrá utilizar un desmoldante o desencofrante, producto químico empleado para evitar la adhesión de la mezcla a las paredes del molde (Silva, Tecnología del concreto., 2020). Las ventajas que poseen este tipo de agentes son las siguientes:

- ✓ Hace del desencofrado una operación rápida y eficaz.
- ✓ Producto ecológico y no tóxico.
- ✓ No mancha el concreto.
- ✓ Evita el deterioro del molde.
- ✓ Ahorro de tiempos en limpieza del molde.

Existen distintos dos tipos de agentes desmoldantes; **aceites y emulsionantes**. Los **aceites** desmoldantes puros, tienen un efecto separador bajo son utilizados en estructuras simples con pocas exigencias en cuanto a calidad superficial. Por otro lado, los **emulsionantes** pueden ser de dos tipos de **agua en aceite** o de **aceite en agua**. Dentro de los emulsionantes es mejor seleccionar uno en base oleica e ir añadiendo agua en pequeñas dosis para conseguir una mezcla homogénea (Silva, Tecnología del concreto., 2020). En nuestro caso a la hora de seleccionar un agente desmoldante no decantaremos por utilizar una emulsión en base oleica que nos garantice un buen acabado superficial.

**Nota:** En el apartado “3.4 Evaluación del coste – presupuesto” se estudiará la posibilidad de utilizar un emulsionante, en caso de que tenga un precio elevado siempre se podrá utilizar un aceite vegetal sobre las paredes del molde.

#### **2.2.5. POSIBILIDAD DE HACER UN VIBRADO A LA MEZCLA DE HORMIGÓN, CON APLICACIÓN EN NIKKI (BENÍN):**

Una vez que la mezcla del concreto se dosifica en el interior del molde será necesario eliminar la mayor cantidad de burbujas posibles. El método más común de eliminación mediante un vibrado sobre la mezcla haciendo que las burbujas de aire asciendan dentro de la masa hasta la superficie



exterior, eliminándose con el ambiente y homogeneizándose (Silva, Tecnología del concreto., 2020).

Las principales razones por las que se debe realizar un vibrado son, aumentar la resistencia y la durabilidad, disminuir la cantidad de burbujas y conseguir una distribución homogénea de estas manteniendo el nivel de aire dentro de los límites previstos.

La vibración sobre la mezcla se puede aplicar de diferentes formas, **vibración externa o interna**. En aplicación directa con los filtros de bioarena se puede utilizar el método de varillado, recomendable para espacios pequeños o utilización de **mesas vibratorias** utilizadas para fabricar elementos prefabricados. Éste último método, consiste en un tablero rígido apoyado elásticamente en soportes fijos. El tablero soportará el molde e irá unido al equipo generador de vibraciones (Silva, Tecnología del concreto., 2020). El rango de vibración debe oscilar entre 3000-14000 rpm y el tiempo de aplicación debe ser pequeño entre 10-30 segundos.

En Nikki, actualmente el fabricante utiliza una varilla de hierro para romper las burbujas creadas en el interior de la mezcla, pero no se puede asegurar la efectividad de este puesto que el número de poros en el interior es demasiado alto. En un futuro sería interesante incluir dentro del proceso de moldeo el vibrado de la mezcla mediante una mesa vibratoria (sistema sencillo en el que sólo haría falta un motor, un tablero y un sistema de muelles que transmita el movimiento).

### 2.3. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE:

El **molde** empleado para la construcción del recipiente exterior del filtro está fabricado en **acero**. Actualmente, en el lugar de implantación no es posible fabricarlo debido a que las operaciones de mecanizado empleadas no están desarrolladas.

A lo largo de este apartado se van a exponer los diferentes tipos de materiales que se podrían emplear para la fabricación de este. (Se debe tener en cuenta que en todos los casos el molde se fabricaría en España, pero se seleccionará aquel que requiera las operaciones más simples).



Como se ha visto en apartados anteriores, el molde deberá estar hecho de un material que trabaje bien en contacto con el hormigón y que facilite su extracción para que no se adhiera demasiado a las paredes del recipiente.

**Las características que debe cumplir el molde** son las siguientes:

- **Material resistente** capaz de soportar fuerzas de tracción y compresión, **con alta durabilidad** y que no se deforme durante el secado de la mezcla ni durante la extracción de la parte interna del molde.
- **Fabricado mediante operaciones de mecanizado sencillas**, consiguiendo así que no aumente mucho el precio final del molde y que en un futuro se pueda fabricar en el lugar de implantación consiguiendo tener la autonomía suficiente para continuar con el proyecto. Además, los elementos auxiliares empleados (tornillos, tuercas, aditivos...) deben ser comunes y de fácil acceso.
- Los pasos de **montaje y desmontaje deben ser sencillos** y con operaciones básicas donde no se necesiten más de **dos personas** en ninguno de los pasos.

Existen varios materiales que cumplen con las características básicas que debe poseer el molde. A continuación, se expondrán las propiedades de algunos de ellos y sus comportamientos al estar en contacto con el hormigón. Al final del apartado se seleccionará el material que mejor se ajuste a nuestras necesidades.

### **2.3.1. ESTUDIO DE DISTINTOS MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DEL MOLDE:**

- **Acero / acero inoxidable:**

El acero, es una aleación de hierro combinado con pequeñas cantidades de otros elementos como carbono, cromo, níquel, titanio, volframio o vanadio. En las obras de gran tamaño se han ido incluyendo este tipo de encofrados debido a que poseen **alta resistencia, mayor durabilidad** y son **elementos reutilizables**.

Los encofrados de acero están caracterizados por soportar gran cantidad de carga tanto a **fuerzas de tracción** como de **compresión**. Son **económicos** debido a que el número de veces que se pueden emplear es grande, y además con ellos se obtiene un **buen acabado superficial**.



Por el contrario, necesitarán un **mayor coste de inversión**, baja resistencia frente a deformaciones plásticas generando torceduras, abollamientos o deformaciones costosas de reparar (Neumann Cabrera, 2017). Otro problema que posee el acero es la **corrosión** generada cuando entra en contacto con el oxígeno y el agua necesitando una protección que aumentará el precio final del conjunto.

En relación con nuestros filtros, la extracción de la parte interna del molde se realiza por deslizamiento. Debido a la baja resistencia frente a deformaciones plásticas se ha tenido que parar varias veces esta operación porque de continuar así, se generarían torceduras dejando el molde inservible. Además, se ha visto que en los puntos oxidados es donde la aparición de grietas es mayor. Una alternativa sería utilizar **acero inoxidable**, aunque el **precio aumentaría en torno al 80%** sólo por el material a emplear.

- **Materiales plásticos (PVC):**

El encofrado plástico es una buena alternativa debido a su gran abundancia, a su naturaleza ecológica en caso de ser reciclados y al número de usos que se les puede dar a diferencia de otros tipos de encofrados (Neumann Cabrera, 2017).

Las principales **ventajas** que poseen este tipo de encofrados son:

- ✓ Poseen una **estructura dócil** y **resistente** al mismo tiempo, permitiendo hacer diseños originales de diferentes formas.
- ✓ Son **livianos** y **fácilmente desmontables** sin deformación.
- ✓ No presentan problemas de corrosión, imputrescible e **inoxidables**.
- ✓ El **acabado** de las superficies es **liso**.
- ✓ **Larga duración**, se pueden **reutilizar** entre 80-100 veces.

En contraposición, necesitan una mayor inversión inicial puesto que son más caros y se comportan peor cuando se trabaja a altas temperaturas.

- **Madera:**

Otro material empleado para la fabricación de estructuras prefabricadas es la madera, el revestimiento se realiza utilizando tablas y madera contrachapada resistente a la humedad (Neumann Cabrera, 2017).





Las **ventajas** que posee la madera que debemos tener en cuenta son las siguientes:

- ✓ El material posee **gran versatilidad** y además se encuentra en el mercado fácilmente.
- ✓ El encofrado tradicional es **económico**, su **costo de inversión es bajo** con respecto a los demás materiales.
- ✓ Es de **fácil montaje**.
- ✓ **Bajo peso** en relación con su resistencia.

Las **desventajas** principales de trabajar con madera son:

- ✗ La madera contrachapada tiene una **vida útil relativamente corta**.
- ✗ **No se consiguen buenos acabados superficiales**.
- ✗ Tendencia alta a la **aparición de grietas** debido a la **filtración del agua por las paredes** del molde.
- ✗ La **estructura** debe ser **sencilla** y sin necesidad de emplear elementos auxiliares que debiliten la madera.

### 2.3.2. MEJORAS QUE SE PUEDEN IMPLANTAR SOBRE EL DISEÑO ACTUAL:

Uno de los objetivos de este proyecto es “**Rediseñar la parte interna del molde**” consiguiendo que sea desmontable para **evitar su deformación** y disminuir o eliminar la generación de grietas en el recipiente. La idea es continuar construyendo el recipiente del filtro con hormigón con las proporciones indicadas en función de la época del año en que se trabaje, en caso de ser necesario se añadirá algún aditivo que facilite su extracción.

Es muy importante tener en cuenta las opciones que ofrece el lugar de implantación y aunque, actualmente el molde se fabrique en España la idea es que en un futuro se pueda obtener al 100% en el lugar donde se vaya a utilizar y eliminar esa dependencia fronteriza. De los 3 materiales expuestos (acero, plástico y madera) el único que se puede encontrar en Nikki (Benín) es la madera de los árboles, aunque tampoco se dispone de la maquinaria adecuada para conseguir un buen acabado superficial.

El molde actual costa de dos partes (interna y externa) que a partir de ahora se denominarán: **molde interno y molde externo**. Por un lado, tenemos el **molde externo** que posee todas sus partes desmontables e independientes donde las fuerzas que soportan son de tracción y de compresión durante el endurecimiento de la mezcla. Por otro lado, el



**molde interno** es un conjunto único el cual se deslizará por el interior del recipiente. En este caso, las fuerzas que deberá soportar serán de tracción, compresión y deslizamiento.

El **problema principal** está en el **molde interior**, durante el desmoldeo porque **el hormigón se queda pegado a las paredes interiores** debido a defectos provocados por la oxidación de las paredes en contacto con el agua o la pérdida de relación a/c imposibilitando la extracción. En el caso de que a adhesión sea excesiva habrá que separar el molde exterior y romper la mezcla de hormigón hasta recuperar el molde interior.

Para poner solución a este problema se quiere **rediseñar el molde interno haciendo que sea desmontable** y que todas las paredes sean independientes manteniendo el tamaño del recipiente. Además, el conjunto completo (molde interno + molde externo) debe soportar el peso de 90kg de la mezcla de hormigón por eso debe tener gran resistencia y soportar bien los esfuerzos a los que esté sometido (tracción y compresión).

En Nikki, existe una falta de conocimiento en relación con ciertas **normas básicas** que se deben cumplir **durante el proceso de fabricación** y que en futuras producciones se deberá insistir y perseguir su cumplimiento para mejorar la seguridad de los operarios y la calidad estructural del producto final. A continuación, se detallan los puntos que se deberán tener en cuenta:

### **1. Seguridad del operario:**

Lo más importante, es garantizar la seguridad de los operarios y que las tareas que realicen no supongan ningún sobreesfuerzo corporal ya que la estructura es muy pesada. Durante todo el proceso de fabricación el operario deberá utilizar los siguientes equipos de protección individual:

- **Guantes anticorte**, necesarios en el proceso de montaje y desmontaje del molde. Evitando cualquier tipo de corte que se pueda producir con aristas de pequeño espesor.
- **Gafas de protección**, a la hora de dosificar la mezcla de hormigón en el interior del molde evitando así salpicaduras.
- **Calzado de seguridad**, necesario durante todo el proceso de fabricación ya que el molde y las herramientas a emplear son muy



pesadas pudiendo provocar alguna lesión en caso de que se desestabilice la estructura.

## **2. Mantener la calidad de la mezcla:**

Otro punto para tener en cuenta es mantener las proporciones de la mezcla y para ello lo ideal sería tener un recipiente medidor con graduación. En caso de que no se pueda conseguir uno con saber el volumen del recipiente es más que suficiente. Por ejemplo, se podía utilizar una botella de plástico como recipiente medidor para dosificar las cantidades establecidas asegurando las proporciones en la mezcla.

## **3. Proceso de montaje y desmontaje de la estructura:**

En el apartado “4.2 Proceso de montaje y desmontaje del conjunto” se detallará como se deben colocar cada una de las piezas del molde. Hay que tener en cuenta, que el molde se tiene que montar sobre una superficie plana y lisa puesto que una vez que se dosifique la mezcla es mejor no mover la estructura de sitio evitando así que se rompan las fuerzas intermoleculares generadas.

A la hora de mezclar los materiales del hormigón, también se debe hacer sobre una superficie lisa y limpia para evitar cualquier tipo de contaminación. La dosificación se realizará con una pala de manera homogénea evitando así la generación inicial de burbujas.

## **4. Almacenamiento:**

Una vez dosificada la mezcla en el interior del molde se deberá almacenar en un ambiente fresco sin que incida el sol directamente sobre la mezcla para que no aumente la temperatura inicial de la mezcla. Como en todos los procesos de fabricación, el almacenamiento se debe realizar en un lugar seguro de difícil acceso y dejando fuera del alcance de los niños. (Como la fabricación de los filtros se realiza en una casa, es muy común ver a los niños cerca del lugar de trabajo).

### **2.3.3. SELECCIÓN DEL MATERIAL A EMPLEAR (ACERO, PLÁSTICO O MADERA):**

Tras exponer los diferentes materiales con los que se puede diseñar el molde, **debemos seleccionar aquel que cumpla mejor los requisitos**



**de proyecto**, en relación con el coste, resistencia, vida útil y acabado superficial de la mezcla.

En el punto “2.3.1 estudio de los distintos materiales para fabricación del molde”, se han expuesto las ventajas y desventajas de la madera, el acero y el plástico. La madera es el material más barato y fácil de encontrar puesto que se puede obtener directamente de los árboles, aunque será necesario un tratamiento superficial. Por eso, el material más económico es la madera y el más caro es el acero por las operaciones de mecanizado necesarias para su tratamiento, aunque el plástico también tiene un precio elevado.

En relación con la resistencia final del conjunto los sistemas tradicionales de madera son menos resistentes y poseen una vida útil inferior a los de plástico o acero. Los moldes de plástico/acero poseen un coste más elevado que los sistemas tradicionales pero el rendimiento que poseen que mucho mayor lo que amortigua la inversión inicial. Atendiendo a la impermeabilidad, los sistemas tradicionales poseen valores muy bajos ya que tienen una impermeabilidad de un 10% frente a la impermeabilidad total que poseen los materiales plásticos o de acero.

Para concluir con este punto, **se descarta el uso de madera** como material a emplear en el molde debido a la baja resistencia, impermeabilidad y acabado superficial. Entre el acero y el plástico la elección es más difícil y con ambas opciones se deberían obtener buenos resultados.

Con el molde de plástico garantizamos una buena extracción y buen acabado superficial ya que el hormigón no se adhiere a ese material. En caso de utilizar un molde de plástico prefabricado será necesario realizar pruebas antes de enviar al lugar de implantación debido a que el diseño juega un papel importante a la hora de soportar las cargas a las que está sometido.

Por último, el molde de acero soporta bien las fuerzas de tracción y compresión, pero no se comporta de la misma manera ante fuerzas de deslizamiento. Una vez que se transforme el movimiento longitudinal (deslizamiento) por el interior del recipiente por uno de tracción se eliminarán la mayoría de los problemas actuales de adhesión. La inversión inicial es elevada pero este material ofrece un buen rendimiento final y una gran vida útil lo que genera un retorno positivo.



Por tanto, se barajan **dos opciones** continuar con el **acero** como material para construir el molde o utilizar un **material plástico** con la resistencia suficiente para soportar las fueras a las que está sometido.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Ingeniería Industrial**

### 3. PROPUESTAS DE MEJORA EN EL DISEÑO:

#### 3.1. DIFERENTES DISEÑOS QUE SE PUEDEN EMPLEAR:

Tras analizar los diferentes materiales con los que se puede fabricar el molde, será necesario diseñar y evaluar diferentes modelos y elegir aquel que cumpla mejor con los objetivos expuestos. Se seleccionará la opción más viable y rentable dentro de las siguientes propuestas:

1. **Molde de acero desmontable.**
2. **Molde de acero circular.**
3. **Molde de plástico desmontable.**

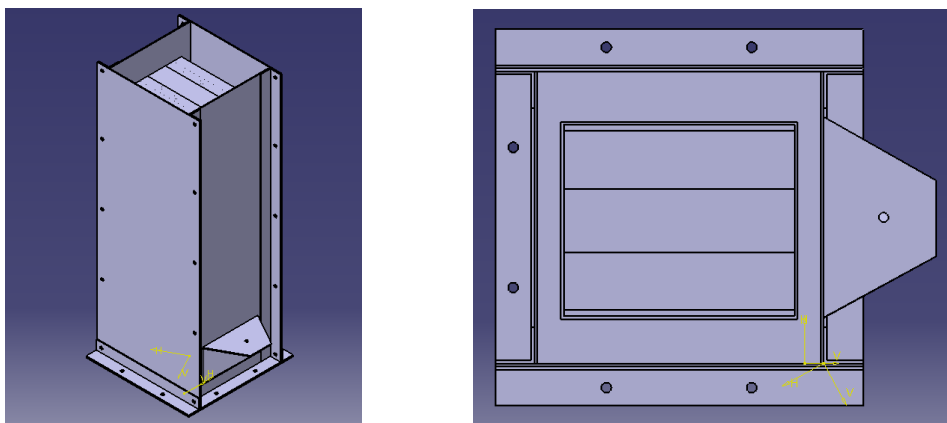
A priori cualquiera las 3 opciones sería válida, siempre que no se modifique el volumen interno del filtro ni se vea afectado el caudal de salida de agua ya que se estarían modificando los parámetros de filtración en el interior del filtro.

#### 3.2. DISEÑO EN 3D DE LOS DIFERENTES MODELOS:

A continuación, se van a plantear las diferentes alternativas, para que se pueda ver de manera sencilla las diferencias entre las 3 propuestas.

##### 3.2.1. MOLDE DE ACERO DESMONTABLE:

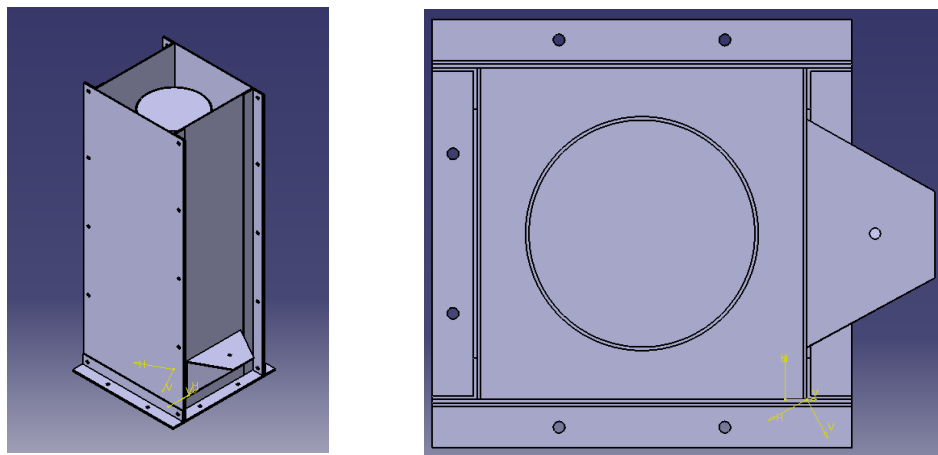
El conjunto está formado por dos partes (molde interno y molde externo) y todas las paredes son desmontables, evitando cualquier tipo de deslizamiento longitudinal sobre el hormigón.



*Figura 11. Visión 3D \_ Molde de acero desmontable.*

### 3.2.2. MOLDE DE ACERO CIRCULAR:

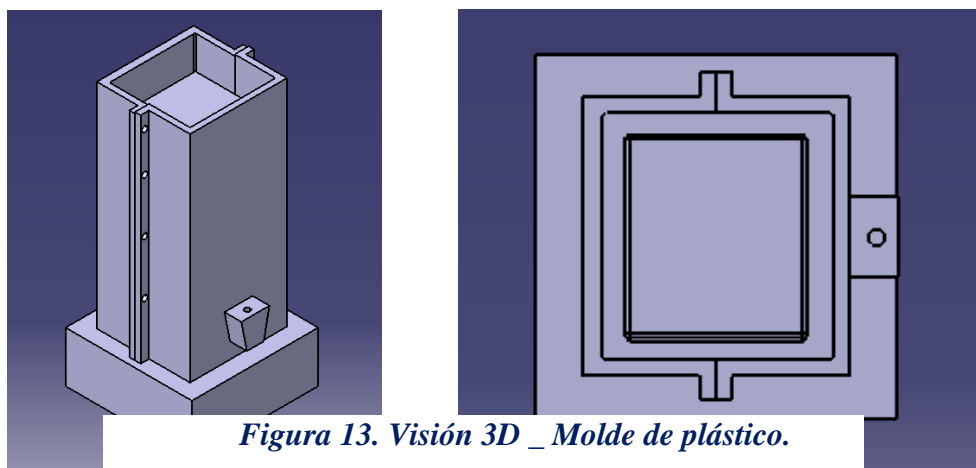
El conjunto está formado por dos partes (molde interno y molde externo) teniendo la parte exterior desmontable como en el caso anterior, pero en este caso el molde interior es un conjunto único circular que se desplazará por el interior de la estructura. La opción de quitar las aristas interiores hará que mejore la extracción.



*Figura 12. Visión 3D \_ Molde de acero circular.*

### 3.2.3. MOLDE DE PLÁSTICO:

El molde de plástico estará formado también por dos partes independientes (interna y externa). La parte externa desmontable y la parte interna será un conjunto único con forma rectangular. En un principio este deslizamiento longitudinal no debería dar problemas porque el hormigón no se adhiere a este tipo de material.



*Figura 13. Visión 3D \_ Molde de plástico.*

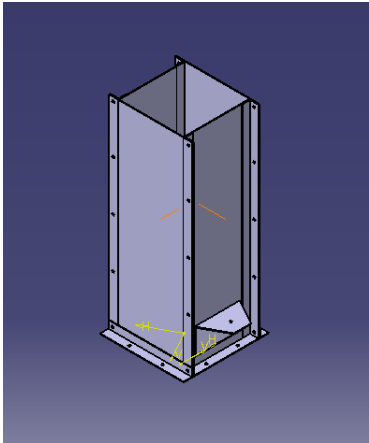


### 3.3. MATERIALES EMPLEADOS EN CADA UNO DE LOS DISEÑOS:

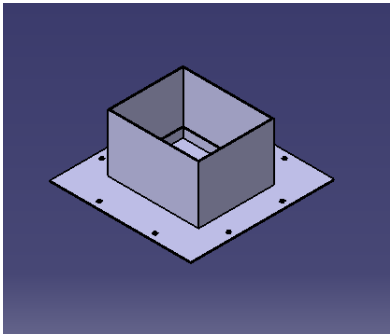
#### 3.3.1. MOLDE DE ACERO DESMONTABLE:

Para la construcción del conjunto se partirá de planchas de acero planas, y el grosor dependerá del elemento del molde que se vaya a construir, como mínimo deberá ser de unos 3.2mm. Importante que las planchas de acero se encuentren en buen estado y sin presencia de oxidación.

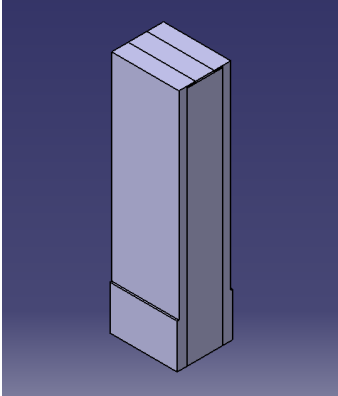
Para entender mejor los elementos que componen el molde vamos a dividir la estructura en 4 piezas:

<b>1. Molde exterior:</b>	
	<p>Todos los elementos que forman el "Conjunto 1. molde exterior" son de acero.</p> <p><i>Elementos que componen el conjunto:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Pared delantera exterior.</b></li> <li>➤ <b>Pared trasera exterior.</b></li> <li>➤ <b>Pared lateral izquierda ext.</b></li> <li>➤ <b>Pared lateral derecha ext.</b></li> <li>➤ <b>10 x Conjunto tuerca-tornillo M12x1.25.</b></li> <li>➤ <b>Tubo de plástico</b> de 6mm de diámetro interior y 9mm de diámetro exterior (de polietileno o vinil).</li> </ul>

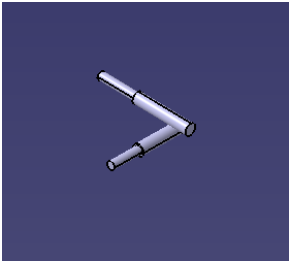
*Tabla 6. Elementos molde exterior. (MAD)*

<b>2. Soporte molde interior:</b>	
	<p>El elemento "2. Soporte molde interior" es un único elemento obtenido a partir de chapas de acero. Va atornillado al "conjunto 1. Molde exterior".</p> <p><i>Elementos que componen el conjunto:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>8 x Conjunto tuerca-tornillo M12x1.25.</b></li> </ul>

*Tabla 7. Elementos soporte molde interior. (MAD)*

3. Molde interior:	
	<p>Todos los elementos que forman el "Conjunto 3. molde interior" son de acero. En este caso no será necesario ningún elemento de unión.</p> <p><u>Elementos que componen el conjunto:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ <b>Abrazadera derecha interior.</b></li><li>➤ <b>Abrazadera izquierda interior.</b></li><li>➤ <b>Unión base interior.</b></li><li>➤ <b>Pared lateral derecha interior.</b></li><li>➤ <b>Pared lateral izquierda interior.</b></li></ul>

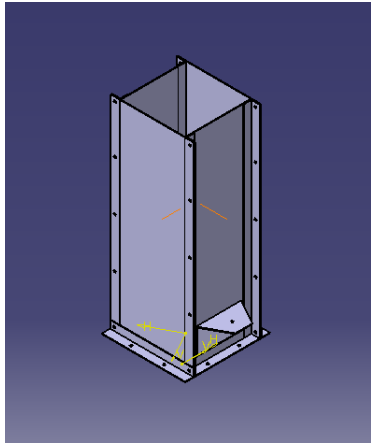
*Tabla 8. Elementos molde interior. (MAD)*

4. Otros elementos auxiliares:	
	<p>Dos varillas roscadas de acero para sujetar el "conjunto 3. Molde interior".</p>

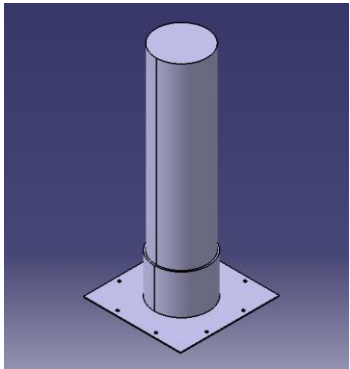
*Tabla 9. Otros elementos auxiliares. (MAD)*

### 3.3.2. MOLDE DE ACERO CIRCULAR:

Al igual que en el molde de acero desmontable, se partirá de planchas de acero planas, y con un mínimo de 3.2mm de grosor. Para evitar que aparezcan defectos sobre la estructura final se recomienda utilizar hojas de acero que no estén oxidadas.

<b>1. Molde exterior:</b>	
	<p>Todos los elementos que forman el "conjunto 1. molde exterior" son de acero.</p> <p><u>Elementos que componen el conjunto:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pared delantera exterior.</li> <li>➤ Pared trasera exterior.</li> <li>➤ Pared lateral izquierda ext.</li> <li>➤ Pared lateral derecha ext.</li> <li>➤ 10 x Conjunto tuerca-tornillo M12x1.25.</li> <li>➤ Tubo de plástico de 6mm de diámetro interior y 9mm de diámetro exterior (de polietileno o vinil).</li> </ul>

*Tabla 10. Elementos molde exterior (MAC).*

<b>2. Molde interior:</b>	
	<p>El conjunto "2. Molde interior" tiene un espesor de 6.4mm de acero.</p>

*Tabla 11. Elementos molde interior (MAC).*

### 3.3.3. MOLDE DE PLÁSTICO:

En este caso para la fabricación del molde se deberá emplear un material plástico (de polietileno o vinilo) que sea capaz de soportar las fuerzas a las que se encuentra sometida la estructura.

1. Molde exterior:	
	<p>Todos los elementos que forman el "conjunto 1. molde exterior" son de plástico.</p> <p>Elementos que componen el conjunto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Pared lateral derecha.</b></li> <li>➤ <b>Pared lateral izquierda.</b></li> <li>➤ <b>8 x Conjunto tuerca-tornillo M12x1.25.</b></li> <li>➤ <b>Tubo de plástico</b> de 6mm de diámetro interior y 9mm de diámetro exterior (de polietileno o vinil).</li> </ul>

Tabla 12. Elementos molde exterior (MP)

2. Molde interior:	
	<p>El conjunto "2. Molde interior" deberá ser fabricado con plástico.</p>

Tabla 13. Elementos molde interior (MP).

### 3.4. EVALUACIÓN DEL COSTE - PRESUPUESTO:

En materia económica, para el cálculo del coste total del proyecto se han tenido en cuenta tanto los costes materiales (herramientas, materiales,



amortización de equipos, etc.) como costes inmateriales (gastos de viajes, formaciones...). En la siguiente tabla se desglosa el coste del proyecto.

### 3.4.1. COSTES MATERIALES E INMATERIALES SEGÚN LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS:

<b>OPCIÓN 1 – MOLDE DE ACERO DESMONTABLE</b>	
<b>MATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Molde exterior:</b>	<b>365€</b>
Pared delantera exterior.	100€
Pared trasera exterior.	70€
Pared lateral izquierda exterior.	80€
Pared lateral derecha exterior.	80€
Conjunto tuerca-tornillo (x10).	20€
Tubo de plástico flexible.	15€
<b>2. Soporte molde interior:</b>	<b>150€</b>
Soporte molde interior.	150€
<b>3. Molde interior:</b>	<b>310€</b>
Abrazadera derecha interior.	70€
Abrazadera izquierda interior.	70€
Unión base interior.	50€
Pared lateral derecha interior.	60€
Pared lateral izquierda interior.	60€
<b>4. Otros elementos auxiliares:</b>	<b>30€</b>
Varillas roscadas de acero (x2)	30€
Placa difusora.	20€
<b>5. Herramientas (montaje):</b>	<b>20€</b>
Alicate / destornillador.	20€



<b>6. Equipos de protección individual (EPIS):</b>	<b>31€</b>
Guantes anticorte.	8€
Gafas de protección.	8€
Calzado de seguridad.	15€
<b>COSTE TOTAL DIRECTO:</b>	<b>926€</b>
<b>INMATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Coste de recursos inmateriales:</b>	<b>1710€</b>
Software y licencias <sup>(*)</sup> .	0€
Formación (alumno software).	350€
Alojamiento y manutención en terreno.	250€
Transporte.	950€
Formación en terreno (sensibilizaciones).	60€
Publicidad en medios de comunicación.	100€
<b>2. Coste de recursos humanos:</b>	<b>5019€</b>
Dedicación del alumno	2304€
Dedicación del alumno en terreno	1440€
Dedicación del tutor	525€
Dedicación del tutor OAN International	750€
<b>COSTE TOTAL INDIRECTO:</b>	<b>6729€</b>
<b>COSTE TOTAL MOLDE DE ACERO:</b>	<b>7655€</b>

*Tabla 14. Evaluación coste MAD.*

El presupuesto total para el proyecto asciende a 7655€, a lo que, si añadimos el IVA del 21%, se obtiene un total de **9262.55€**.



<b>OPCIÓN 2 – MOLDE DE ACERO CIRCULAR</b>	
<b>MATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Molde exterior:</b>	<b>365€</b>
Pared delantera exterior.	100€
Pared trasera exterior.	70€
Pared lateral izquierda exterior.	80€
Pared lateral derecha exterior.	80€
Conjunto tuerca-tornillo (x10).	20€
Tubo de plástico flexible.	15€
<b>2. Molde interior:</b>	<b>1000€</b>
Molde interior.	650€
Extractor (completo).	350€
<b>4. Otros elementos auxiliares:</b>	<b>30€</b>
Varillas roscadas de acero (x2)	30€
Placa difusora.	20€
<b>5. Herramientas (montaje):</b>	<b>20€</b>
Alicate / destornillador.	20€
<b>6. Equipos de protección individual (EPIS):</b>	<b>31€</b>
Guantes anticorte.	8€
Gafas de protección.	8€
Calzado de seguridad.	15€
<b>COSTE TOTAL DIRECTO:</b>	<b>1446€</b>
<b>INMATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Coste de recursos inmateriales:</b>	<b>1710€</b>
Software y licencias <sup>(*)</sup> .	0€



Formación (alumno software).	350€
Alojamiento y manutención en terreno.	250€
Transporte.	950€
Formación en terreno (sensibilizaciones).	60€
Publicidad en medios de comunicación.	100€
<b>2. Coste de recursos humanos:</b>	<b>5019€</b>
Dedicación del alumno	2304€
Dedicación del alumno en terreno	1440€
Dedicación del tutor	525€
Dedicación del tutor OAN International	750€
<b>COSTE TOTAL INDIRECTO:</b>	<b>6729€</b>
<b>COSTE TOTAL MOLDE DE ACERO CIRCULAR:</b>	<b>8175€</b>

*Tabla 15. Evaluación coste MAC.*

El presupuesto total para el proyecto asciende a 8175€, a lo que, si añadimos el IVA del 21%, se obtiene un total de **9891.75€**.

<b>OPCIÓN 3 – MOLDE DE PLÁSTICO</b>	
<b>MATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Molde exterior:</b>	<b>831€</b>
Pared lateral derecha.	400€
Pared lateral izquierda.	400€
Conjunto tuerca-tornillo (x8).	16€
Tubo de plástico flexible.	15€
<b>2. Molde interior:</b>	<b>850€</b>
Molde interior.	850€
<b>3. Otros elementos auxiliares:</b>	<b>30€</b>





Varillas roscadas de acero (x2)	30€
Placa difusora.	20€
<b>4. Herramientas (montaje):</b>	<b>20€</b>
Alicate / destornillador.	20€
<b>5. Equipos de protección individual (EPIS):</b>	<b>31€</b>
Guantes anticorte.	8€
Gafas de protección.	8€
Calzado de seguridad.	15€
<b>COSTE TOTAL DIRECTO:</b>	<b>1762€</b>
<b>INMATERIAL:</b>	
<b>Concepto:</b>	<b>Precio:</b>
<b>1. Coste de recursos inmateriales:</b>	<b>1710€</b>
Software y licencias (*1).	0€
Formación (alumno software).	350€
Alojamiento y manutención en terreno.	250€
Transporte.	950€
Formación en terreno (sensibilizaciones).	60€
Publicidad en medios de comunicación.	100€
<b>2. Coste de recursos humanos:</b>	<b>5019€</b>
Dedicación del alumno	2304€
Dedicación del alumno en terreno	1440€
Dedicación del tutor	525€
Dedicación del tutor OAN International	750€
<b>COSTE TOTAL INDIRECTO:</b>	<b>6729€</b>
<b>COSTE TOTAL MOLDE DE PLÁSTICO:</b>	<b>8491€</b>

Tabla 16. Evaluación coste MP.



El presupuesto total para el proyecto asciende a 8491€, a lo que, si añadimos el IVA del 21%, se obtiene un total de **10274.11€**.

(\*1) En este caso, el coste del software es cero ya que se utiliza la versión para estudiantes de la UVA.

(\*2) **Cálculo coste de los recursos humanos:**

Concepto	Nº horas	Precio (€/hora)	Precio total
Dedicación del alumno:	192	12	<b>2304</b>
Dedicación del alumno en terreno:	120	12	<b>1440</b>
Dedicación del tutor:	15	35	<b>525</b>
Dedicación del tutor OAN International	30	25	750
<b>TOTAL</b>			<b>5019</b>

*Tabla 17. Evaluación coste recursos humanos.*

Comparando las diferentes alternativas obtenemos:

OPCIONES:	DIRECTO:	INDIRECTO:	TOTAL:	TOTAL (IVA):
<b>1. Molde de acero desmontable:</b>	<b>926€</b>	<b>6729€</b>	<b>7655€</b>	<b>9262.55€</b>
2. Molde de acero circular:	1446€	6729€	<b>8175€</b>	9891.75€
3. Molde de plástico:	1762€	6729€	<b>8491€</b>	10274.11€

*Tabla 18. Comparación coste diferentes alternativas.*

De las tres alternativas expuestas, **la opción más económica es el molde de acero desmontable**. Aunque tras analizar los resultados las diferencias no son tan grandes como para descartar cualquiera de las otras dos opciones.

**3.5. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA:**

Tras realizar el estudio económico del proyecto, se puede ver que los resultados obtenidos son similares para cualquiera de las tres opciones y, por tanto, los tres diseños serán válidos para construir el recipiente.



En este caso, se ha seleccionado el **molde de acero desmontable** debido a que cumple los siguientes requisitos:

- ✓ Es la opción más barata, aunque no se aprecien grandes diferencias.
- ✓ Sólo se ve modificado el molde interior.
- ✓ El material es el mismo al que están utilizando actualmente.
- ✓ Las paredes laterales del molde exterior se pueden reutilizar.
- ✓ El proceso de montaje y desmontaje es sencillo de realizar.
- ✓ La vida útil del material es muy elevada.

Es muy importante tener presente el impacto que puede generar el proyecto en la sociedad ya que un cambio brusco podría no ser aceptado y podría llegar a frenarse la fabricación de los filtros. Los fabricantes de los filtros de bio-arena ya están acostumbrados a trabajar con acero y conocen de primera mano cómo se comporta este material. Además, en caso de no conseguir toda la financiación las paredes laterales del molde se podrían reutilizar.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Ingeniería Industrial**



## 4. **NUEVO MOLDE PROPUESTO:**

### 4.1. PLANOS DETALLE:

Todos los planos del molde se pueden consultar en el punto *8.1 Anexo-1: Planos detalle molde acero desmontable.*

Plano 1 – Conjunto molde acero desmontable completo.

- **Elementos molde exterior:**

Plano 2 – Conjunto molde exterior.

Plano 3 – Pared delantera exterior.

Plano 4 – Pared lateral exterior.

Plano 5 – Pared trasera exterior.

- **Elementos molde interior:**

Plano 6 – Conjunto molde interior.

Plano 7 – Soporte molde interior.

Plano 8 – Abrazadera izquierda interior.

Plano 8.1 – Sección 1 abrazadera izquierda interior.

Plano 8.2 – Sección 2 abrazadera izquierda interior.

Plano 9 – Abrazadera derecha interior.

Plano 9.1 – Sección 1 abrazadera derecha interior.

Plano 9.2 – Sección 2 abrazadera derecha interior.

Plano 10 – Pared lateral izquierda interior.

Plano 11 – Pared lateral derecha interior.

Plano 12 – Unión base interior.

Plano 13.1 – Eje longitudinal izquierdo.

Plano 13.2 – Eje longitudinal derecho.

Plano 14.1 – Eje transversal izquierdo.

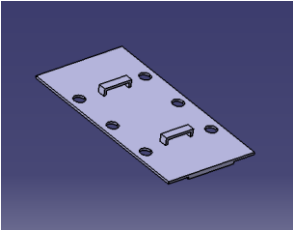
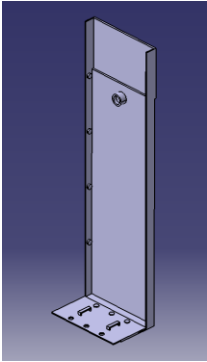
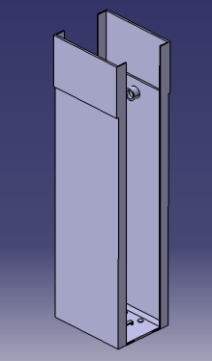
Plano 14.2 – Eje transversal derecho.

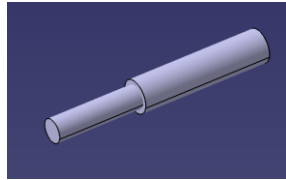
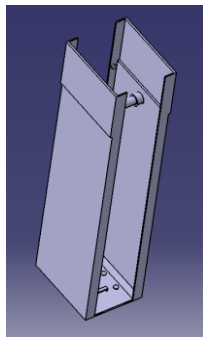
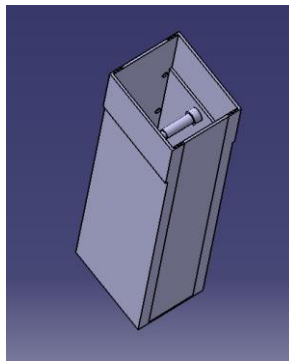
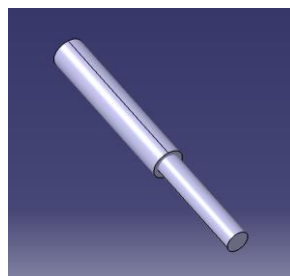
#### 4.2. PROCESO DE MONTAJE Y DESMONTAJE DEL CONJUNTO:

Una vez fabricadas todas las piezas necesarias para la construcción del molde se recomienda seguir los siguientes pasos para poder montar y desmontar el conjunto de una forma sencilla e intuitiva.

En las siguientes tablas se puede ver cómo se deben acoplar cada uno de los elementos.

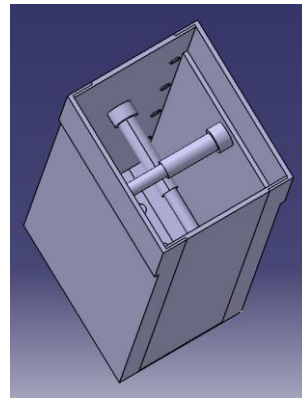
#### MONTAJE:

PASO 1:	
Colocar la pieza “ <b>unión base interior</b> ” sobre una superficie lisa según se muestra en la imagen.	
PASO 2:	
Acoplar la “ <b>abrazadera derecha interior</b> ”. Nota: deben encajar los 3 salientes de la parte inferior.	
PASO 3:	
Colocar la “ <b>abrazadera izquierda interior</b> ”. Nota: deben encajar todos los salientes.	

PASO 4:	
Roscar el “eje transversal izquierdo” sobre el “eje transversal derecho”.	
PASO 5:	
Acoplar el “conjunto eje transversal” en los salientes de las abrazaderas interiores.	
PASO 6:	
Colocar las “paredes laterales interiores” (derecha e izquierda).	
PASO 7:	
Roscar el “eje longitudinal izquierdo” sobre el “eje longitudinal derecho”.	

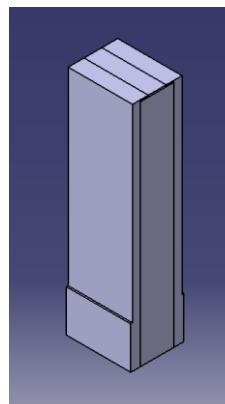
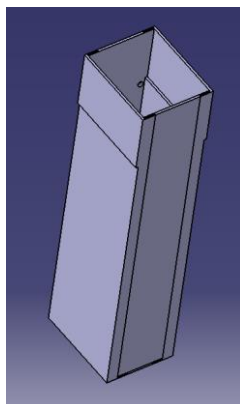
**PASO 8:**

Acoplar el “conjunto eje longitudinal” en los salientes de las paredes interiores.



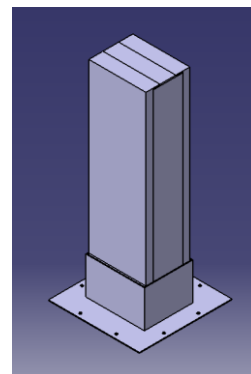
**PASO 9:**

Girar el conjunto 180°.

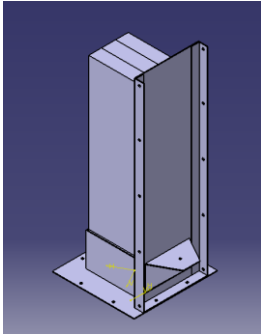
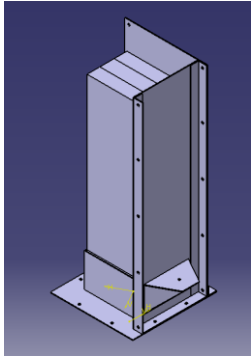
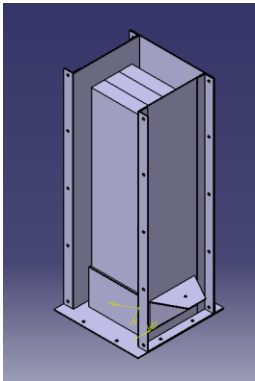


**PASO 10:**

Colocar el conjunto “molde interior” sobre el “soporte molde interior”.

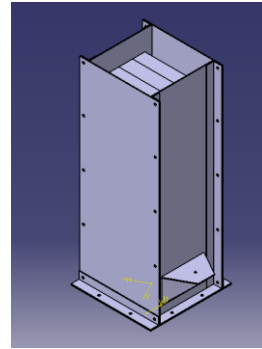




PASO 11:	
Colocar la <b>“pared delantera exterior”</b> sobre el <b>“soporte molde interior”</b> .	
PASO 12:	
Colocar la <b>“pared lateral derecha exterior”</b> sobre el <b>“soporte molde interior”</b> .	
PASO 13:	
Colocar la <b>“pared trasera exterior”</b> sobre el <b>“soporte molde interior”</b> .	

**PASO 14:**

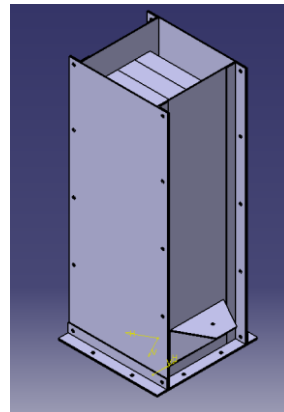
Colocar la **“pared lateral izquierda exterior”** sobre el **“soporte molde interior”**.



**DESMONTAJE**

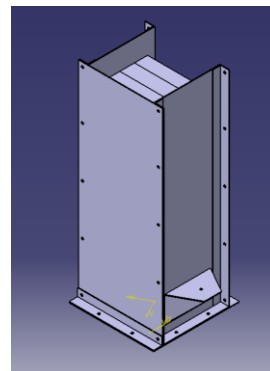
**NOTA:**

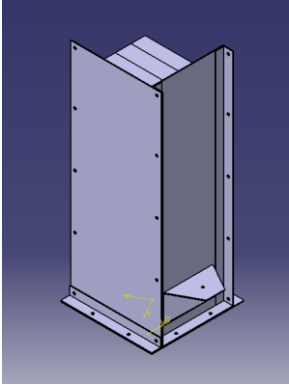
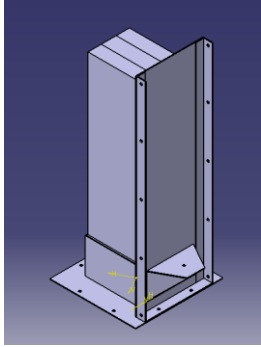
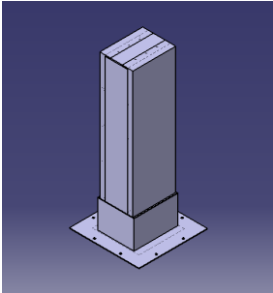
Una vez que el hormigón se haya secado se irán separando cada una de las piezas en el siguiente orden:



**PASO 1:**

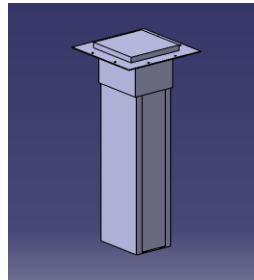
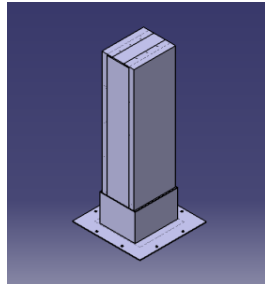
Separar la **“pared lateral izquierda exterior”** del molde exterior.



PASO 2:	
Separar “ <b>Pared trasera exterior</b> ”.	
PASO 3:	
Separar “ <b>pared lateral derecha exterior</b> ” evitando deslizar la placa sobre el hormigón.	
PASO 5:	
Separar “ <b>pared delantera exterior</b> ” evitando deslizar la placa sobre el hormigón.	

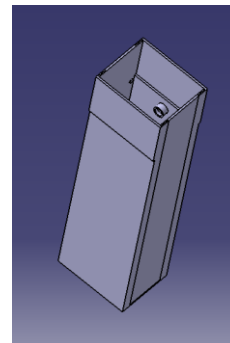
**PASO 6:**

Girar el conjunto 180°.



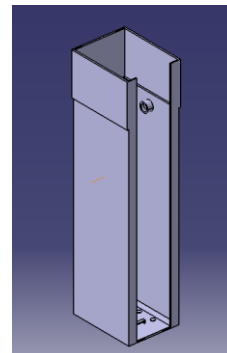
**PASO 7:**

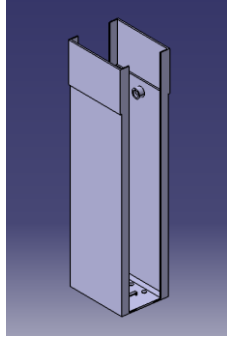
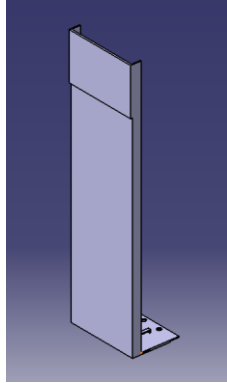
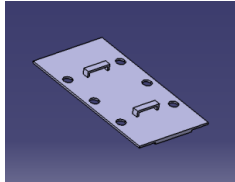
Desenroscar el “eje longitudinal” y “eje transversal”.



**PASO 8:**

Separar “Pared lateral izquierda interior”.



PASO 9:	
Separar <b>“Pared lateral derecha interior”</b> .	
PASO 10:	
Separar <b>“Abrazadera derecha interior”</b> .	
PASO 11:	
Separar <b>“Abrazadera izquierda interior”</b> . <b>Nota:</b> Extraer la <b>“unión base interior”</b> con ayuda de una varilla.	



### 4.3. ANÁLISIS DE IMPACTOS:

Una de las herramientas más utilizadas para analizar los impactos de un proyecto es el Retorno Social de la Inversión (SROI por sus siglas en inglés). Este método está basado en principios de medición del valor extra financiero, es decir, el valor ambiental, social y económico público que actualmente no se refleja en la contabilidad financiera convencional. Es un método desarrollado para ayudar a las organizaciones a medir y evaluar el impacto que produce en sus principales grupos de interés o stakeholders. Gracias a este proceso se pueden identificar diferentes mecanismos de mejora ya sea a la hora de gestionar actividades con los recursos invertidos en las diferentes tareas. Por ello, en este apartado se pretende realizar un comentario sobre el alcance y la repercusión del proyecto en todas sus dimensiones: social, ambiental y económico.

#### 4.3.1. IMPACTO SOCIOECONÓMICO:

En los proyectos de cooperación el impacto socio económico es uno de los puntos más importantes a evaluar, por lo que es necesario conocer cómo y de qué manera afecta el proyecto a los diferentes agentes involucrados. Para realizar el análisis utilizamos la “matriz de stakeholders” donde se recoge información sobre las partes implicadas en el proyecto y la manera en la que se relacionan con éste. En esta matriz se expone el comportamiento de los diferentes grupos de interés y se estudia el grado de interés que muestra sobre la propuesta, el grado de influencia que puede ejercer sobre el éxito o el fracaso del proyecto y los impactos positivos o negativos que tiene sobre el proyecto.

Stakeholder:	Relación:	Nivel de interés:	Nivel de influencia:	Impactos positivos:	Impactos negativos:
<b>Gobierno local: Ayuntamiento de Nikki.</b>	Conoce la importancia de ingerir agua en buen estado.	Medio.	Bajo.	Mejora de la calidad del agua de los pozos. Reducción de transmisión de enfermedades.	NA
<b>Población local.</b>	Crea la demanda y dispone (en algunos casos) de los medios económicos necesarios para obtener un sistema de depuración de aguas.	Muy alto.	Muy alto.	Mejora la calidad del agua. Reducción de transmisión de enfermedades.	Inversión en los filtros de bio-arena.



<b>Agente local (OAN internatioal)</b>	Conoce la tecnología y el proceso de fabricación de los bio filtros. Crea la necesidad de mejorar el proceso de fabricación.	Muy alto.	Muy alto.	El agente local junto con los técnicos formados se dedicará a la fabricación de los filtros, venta y mantenimientos de éstos. Mejora de la calidad del agua reduciendo la trasmisión de enfermedades.	Dedicación 100% al proyecto además de su trabajo diario.
<b>Técnicos formados.</b>	Dispondrían de los conocimientos necesarios para la construcción y mantenimientos de los filtros.	Alto.	Alto.	Posibilidad de dedicarse a la fabricación, venta y mantenimiento de los filtros (trabajo extra).	Dedicación parcial al proyecto.
<b>Comercios locales.</b>	Disponen de los materiales necesarios para la construcción de los bio filtros (cemento, tubo de plástico, aceites lubricantes...)	Alto	Muy Alto.	Aumento de las ventas. Precio de los materiales ajustado evitando el aumento del coste por el transporte.	

**Tabla 19. Impacto socioeconómico.**

El proyecto puede afectar a la población local en diferentes aspectos:

- **Calidad de vida:** debido a la disminución de enfermedades se aumentará el bienestar emocional y un desarrollo personal mayor.
- **Equidad de género:** este proyecto va de la mano al acceso agua a través de bombas manuales (ver proyecto red reparadores de agua de OAN International) al ser las mujeres las encargadas del abastecimiento de los hogares, una mejora en el acceso influiría en el empoderamiento de las mujeres, su participación en la comunidad, y una redistribución de las tareas domésticas.
- **Educación formal:** por desgracia en muchos casos todavía son los niños los que se encargan de esta tarea, se obtendrá una disminución del absentismo escolar y disminución de enfermedades en las escuelas.
- **Económico:** se impulsa el comercio local, un aumento de los ingresos para los vendedores y fabricantes y mejora de la productividad de la población activa.



- Aprendizaje: la formación de fabricantes fomenta los conocimientos en tecnologías de filtración y depuración de aguas, en enfermedades contagiosas, administración...
- Salud: reducción de mortalidad y de enfermedades de origen hídrico. Se observa un aumento de la esperanza de vida en aquellas familias que actualmente utilizan este sistema de depuración.

En general, un aumento del índice de desarrollo humano (IDH).

#### 4.3.2. IMPACTO AMBIENTAL:

La sostenibilidad medioambiental es una condición a la que se debe prestar especial atención en todos los proyectos y cada vez es mayor el tiempo empleado en analizar este aspecto. Para el caso de proyectos enfocados al diseño de tecnologías para el tratamiento de aguas éstos deben reducir los residuos, incrementar la eficiencia de los recursos, y sustituir todos aquellos productos y procesos dañinos para el medio ambiente.

Entre los impactos ambientales generados en el proyecto cabe destacar que, el molde es reutilizable y con el nuevo diseño la vida útil del mismo aumentará (no debería quedar inservible). No se generan residuos como tal, el único problema es que algún filtro de problemas de filtración y quede inservible.

Uno de los principales problemas encontrados en esta localidad es que no existe una gestión de residuos organizada y mucho menos un reciclado de éstos. Por tanto, los problemas sanitarios y de desechos cada vez son mayores llegando a contaminar el agua de los ríos más cercanos. Actualmente, se ha iniciado un proyecto para poner solución a este problema.





## 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO:

### 5.1. CONCLUSIONES DEL PROYECTO:

Como resultado final se puede decir que el proyecto ha sido favorable, puesto que se han conseguido desarrollar la mayoría de los objetivos definidos al inicio del proyecto.

- Se ha analizado el **impacto que tienen los factores ambientales sobre las propiedades finales** tanto en estado fresco como endurecido de la **mezcla**. Obteniendo resultados muy dispares en las diferentes épocas del año. Por eso, aunque se recomienda fabricar durante la época de lluvias **se han estandarizado las cantidades de materiales a utilizar a lo largo de todo el año**.
- Se ha **rediseñado un nuevo molde** para la construcción del recipiente contenedor que tenga una alta vida útil y disminuya la gran mayoría de los defectos superficiales encontrados hasta la fecha. Con el nuevo diseño se eliminan todos los desplazamientos longitudinales durante el desmoldeo evitando tanto la deformación del molde como la generación de fisuras.
- Debido a la escasez de materiales y talleres de fabricación que hay en la localidad **se ha optado por continuar utilizando el molde de acero**. Los fabricantes ya están familiarizados con este tipo de material y saben cómo se comporta ante los diferentes esfuerzos. De esta manera, si se realizan las tareas de mantenimiento oportunas se podrá utilizar dicho molde todas las veces que sean necesarias.

No podemos olvidar que el objetivo principal que tiene este trabajo es facilitar el proceso de fabricación y para ello se realizó este rediseño. Será necesario buscar financiación para poder reproducir el nuevo molde y una vez que se hagan las pruebas oportunas y se compruebe el funcionamiento correcto se enviará a Nikki (Benín) para que los agentes locales lo puedan utilizar.

Con todo esto lo que se conseguirá será fabricar un mayor número de recipientes contenedores de una manera más sencilla, disminuyendo las pérdidas actuales que tiene el fabricante que, además, le suponen asumir un sobreesfuerzo sin generar ningún tipo de impacto ni beneficio.



## 5.2. POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO EN TERRENO:

Cuando se trabaja en proyectos de cooperación hay que tener en cuenta que los tiempos no son los mismos a los que solemos estar acostumbrados. Con esto, lo que se quiere decir es que el tiempo de implantación y formación van algo más lentos y que por desgracia en algunos casos depende de la presencia de voluntarios en terreno para seguir avanzando.

En la **próxima estancia de voluntarios** se marcarán unos **hitos** que serán necesarios para la evolución y cumplimiento de este:

1. **Formación in situ del proceso de montaje del nuevo diseño del molde.** Será necesario realizar varias formaciones y ver si existe algún problema que no se haya tenido en cuenta.
2. Hacer un **estudio de los materiales** que se pueden encontrar en la **localidad** y ver si existe alguna alternativa que mejore las propiedades actuales en relación con el peso, imagen visual, reciclado de residuos...
3. En caso de que se sigan generando filtraciones por las paredes del recipiente con el paso del tiempo, habrá que **evaluar la posibilidad de obtener una mesa vibratoria** para disminuir la generación de poros en el interior.
4. Por último y muy importante, **aumentar las sensibilizaciones en los barrios y pueblos cercanos** para que la población sea consciente de la necesidad de consumir agua en buenas condiciones ya que el agua del que disponen en muchos casos debe ser filtrada tras su extracción.

## 5.3. POSIBLES TFG/TFM DE LA MANO DE OAN INTERNATIONAL:

**OAN International** se basa en un **modelo de cooperación sostenible y replicable en otros lugares**. Todo esto es posible debido a que la base de los proyectos se centra en un modelo donde el protagonismo local es el principal motor de acción y gracias a la participación de diferentes agentes locales se consiguen llevar a cabo todos los proyectos. Los agentes locales tienen un papel fundamental puesto que una vez implantados serán los encargados de continuar con los proyectos de una manera independiente y autosuficiente.

Todos los proyectos están incluidos dentro de **cuatro comités** en los que se divide la ONG. En ellos se apuesta por un **enfoque multidisciplinar y**



**transversal aplicando del mismo modo la perspectiva de género y el enfoque basado en derechos humanos.**

Dentro de la organización se pueden encontrar los diferentes comités:

- Comité de Agronomía.
- Comité Biosanitario.
- **Comité de Energía, Agua e Infraestructura.**
- Comité de Políticas Sociales.

En 2018, se comenzó una nueva investigación estratégica para identificar problemáticas que afectan a la población de Nikki. Las principales líneas de investigación y temas de los que podría salir un posible TFG/TFM serían los siguientes:

- Acceso a energía y electrificación.
- Gestión de residuos.
- Biomasa.
- Saneamiento.
- Almacenamiento de aguas.



---

**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

---

**Máster en Ingeniería Industrial**



## 6. **BIBLIOGRAFÍA:**

**(EHE-08) Anejo 17 [Instrucción de hormigón estructural ]. (2008).**

*Recomendaciones para la utilización del hormigón autocompactable.*

Obtenido de: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/anejo17borde.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/anejo17borde.pdf) Última consulta web: 22.03.2020.

**ACI Committee 305. (1991).**

**ACNUR - Comité español. (Marzo de 2018).** *Derecho y valores del ser humano.*

**Ageman, S. (2016).** *Thermal effect of mass concrete structures in the tropics: Experimental, modelling and parametric studies.* Ghana.

**BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC. (2005).** *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete.*

**CAWDT - Centre for affordable water and sanitation technology. (2009).** *Manual para el filtro de bio-arena diseño, construcción, instalación operación y mantenimiento.*

**CLIMATE DATA [Datos climáticos mundiales]. (2020).** Obtenido de Climate-Data-org

**CONSTRUCTOR CIVIL [Calor de hidratación del cemento Portland]. (6 de Diciembre de 2010).**

*Constructor Civil.* Obtenido de <https://www.elconstructorcivil.com/2011/01/calor-de-hidratacion-del-cemento.html>

**CONSTRUPEDIA 21219 - Enciclopedia de construcción. (2019).** *Resistencia mecánica.*

**Frías., J. A. (2016).** *Los encofrados deslizantes en la construcción de silos de concreto armado.* Perú.

**I. Molina Bas, O. (2008).** *La influencia e las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento pórtland en la durabilidad del hormigón.*

**INGEMECÁNICA [Tablas de Pesos Específicos y Densidades de Materiales]. (Octubre de 2019).**

*Ingeniería mecánica.* Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutoriales/pesos.html#materiales>

**Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2011).** *Design and control of concrete mixtures.*

**López, A., Tobes, J., Giaccio, G., & Zerbino., R. (2008).** *Evaluación de la calidad superficial del hormigón autocompactante.*

**Mansilla Torres, S. (2003).** *Hormigón Arquitectónico.*

**NACIONES UNIDAS [Objetivos de desarrollo sostenible]. (2020).** *Agua limpia y de saneamiento.*

**NACIONES UNIDAS ODS-6 [Agua limpia y de saneamiento]. (3 de Octubre de 2016).** *Por qué es importante.*



- Neumann Cabrera, G. (2017).** *Análisis de costos y eficiencia del encofrado de plástico en columnas y vigas.*
- Neville, A. (1999).** *Properties of concrete (fourth edition).* London: Pearson Education Limited.
- Newman, J., & Choo, B. S. (2003).** *Advanced Concrete Technology Processes.* ELSEVIER.
- Ortiz Lozano, J. (2005).** *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado.* Barcelona.
- Ortiz, J., Aguado, A., Agulló, L., & T. García. (1970-1979).** *Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: simulation of hot and cold weather conditions.*
- PCA Portland Cement Association. (2004).** *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.*
- RIVERA, G. (1992).** *Resistencia del concreto.* Universidad de Cauca.
- Silva, O. (Marzo de 2020).** *Tecnología del concreto.*  
Obtenido de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ventajas-de-desmoldantes-para-la-construccion-de-viviendas> Última consulta web: 14.04.2020
- Soroka, I. (1993).** *Concrete in hot environments.*
- UNESCO [The United Nations world water development report]. (2019).** *Leaving no one behind.* Francia.
- UNICEF AND WORLD HEALTH ORGANIZATION [Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target]. (2006).** *The urban and rural challenge of the decade.*
- Valcuende, M., Parra, C., & Benilloch, J. (2005).** *Permeability, porosity and compressive strength of self-compacting concretes.* Valencia.
- Weather Atlas. (2019-2020).** Obtenido de Previsión meteorológica y clima mensual Cotonú, Benín: [https://www.weather-atlas.com/es/benin/cotonu-clima#humidity\\_relative](https://www.weather-atlas.com/es/benin/cotonu-clima#humidity_relative) Última consulta web: 30.03.2020.
- Weather Spark. (2019-2020).** Obtenido de Tiempo promedio Borgou; Nikki: <https://es.weatherspark.com/m/48868/11/Tiempo-promedio-en-noviembre-en-Nikki-Ben%C3%ADn#Sections-Humidity> Última consulta web: 30.03.2020.
- Zaccardi, Y. V., Taus, V., Maio, A. D., & Pittori, A. (2012).** Relación entre la velocidad de succión capilar y la velocidad de secado de probetas de hormigón.



## 7. ANEXOS:

### 7.1. ANEXO 1: ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Mapa de Benín.....	4
Figura 2. Sensibilizaciones verano 2018.....	7
Figura 3. Partes del filtro de bio-arena.....	8
Figura 4. Zonas del biofiltro.....	10
Figura 5. Ajuste del extractor durante la retirada del molde interior.....	12
Figura 6. Influencia de la Tª ambiental sobre la resistencia a compresión.....	20
Figura 7. Cálculo de la evaporación del agua superficial del hormigón.....	23
Figura 8. Cálculo de la evaporación del agua superficial en época húmeda.....	33
Figura 9. Cálculo de la evaporación del agua superficial en época seca.....	35
Figura 10. Tª ambiental (°C) vs cantidad de cemento empleada en (kg).....	40
Figura 11. Visión 3D _ Molde de acero desmontable.....	55
Figura 12. Visión 3D _ Molde de acero circular.....	56
Figura 13. Visión 3D _ Molde de plástico.....	56

### 7.2. ANEXO 2: ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Valores ambientales Nikki (Benín).....	28
Tabla 2. Resumen valores ambientales Nikki época seca y húmeda.....	28
Tabla 3. Condiciones ambientales época húmeda.....	36
Tabla 4. Resumen de resultados en las diferentes épocas del año.....	38
Tabla 5. Recomendaciones de proporciones en las diferentes épocas del año.....	39
Tabla 6. Elementos molde exterior. (MAD).....	57
Tabla 7. Elementos soporte molde interior. (MAD).....	57
Tabla 8. Elementos molde interior. (MAD).....	58
Tabla 9. Otros elementos auxiliares. (MAD).....	58
Tabla 10. Elementos molde exterior (MAC).....	59
Tabla 11. Elementos molde interior (MAC).....	59
Tabla 12. Elementos molde exterior (MP).....	60
Tabla 13. Elementos molde interior (MP).....	60
Tabla 14. Evaluación coste MAD.....	62
Tabla 15. Evaluación coste MAC.....	64
Tabla 16. Evaluación coste MP.....	65
Tabla 17. Evaluación coste recursos humanos.....	66
Tabla 18. Comparación coste diferentes alternativas.....	66
Tabla 19. Impacto socioeconómico.....	79



### 7.3. ANEXO 3: ABREVIATURAS, UNIDADES Y ACRÓNIMOS:

<b>TFM</b>	Trabajo fin de máster.
<b>ODS</b>	Objetivos desarrollo sostenible.
<b>ONG</b>	Organización no gubernamental.
<b>OAN</b>	Objetivo analizar Nikki.
<b>CAWST</b>	Centre for affordable water and sanitation technology.
<b>VSE</b>	Velocidad de secado.
<b>VSC</b>	Velocidad de succión capilar.
<b>a/c</b>	Relación agua cemento.
$\Delta T$	Incremento de temperatura.
<b>HR</b>	Humedad relativa.
<b>HAC</b>	Hormigón autocompactante.
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo.
<b>MAD</b>	Molde acero desmontable.
<b>MAC</b>	Molde acero circular.
<b>MP</b>	Molde de plástico.
<b>NA</b>	No aplica.
<b><math>\rho_c</math></b>	Densidad cemento.
<b><math>\rho_w</math></b>	Densidad del agua.
<b><math>\rho_a</math></b>	Densidad de los áridos.

### 7.4. ANEXO 4: PLANOS DETALLE MOLDE ACERO DESMONTABLE:

Plano 1 – Conjunto molde completo.

#### 7.4.1. PLANOS MOLDE EXTERIOR:

Plano 2 – Conjunto molde exterior.

Plano 3 – Pared delantera exterior.

Plano 4 – Pared lateral exterior.

Plano 5 – Pared trasera exterior.

#### 7.4.2. PLANOS MOLDE INTERIOR:

Plano 6 – Conjunto molde interior.

Plano 7 – Soporte molde interior.

Plano 8 – Abrazadera izquierda interior.

Plano 9 – Abrazadera derecha interior.

Plano 10 – Pared lateral izquierda interior.

Plano 11 – Pared lateral derecha interior.

Plano 12 – Unión base interior.

Plano 13.1 – Eje longitudinal izquierdo.





Plano 13.2 – Eje longitudinal derecho.  
Plano 14.1 – Eje transversal izquierdo.  
Plano 14.2 – Eje transversal derecho.