



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Definición de una combinación óptima a nivel técnico
del agregado fino para la producción de concretos en
la empresa Grupo San Pío**

**Autor(es)
Efrain Bermúdez Rueda**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021**



**Definición de una combinación óptima a nivel técnico del agregado fino para la
producción de concretos en la empresa Grupo San Pío**

Efrain Bermúdez Rueda

Informe de práctica como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores (a):

Yenni Mariana Ramírez Mazo, Ingeniera Civil

Karen Vanessa Henao Garcés, Ingeniera Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021.



TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	7
2. INTRODUCCION	8
3. OBJETIVOS.....	9
3.1. Objetivo General.....	9
3.2. Objetivos Específicos	9
4. MARCO TEORICO	10
4.1. Concreto.....	10
4.1.1. Clasificación del Concreto	10
4.2. Componentes	11
4.2.1. Cemento	11
4.2.2. Agua	13
4.2.3. Agregados.....	13
4.3. Características de los agregados	15
4.4. Procedencia de los Agregados	16
4.4.1. Amagá	17
4.4.2. Bolombolo.....	18
4.4.3. La Pintada.....	19
5. METODOLOGÍA	21
5.1. Identificación de los protocolos empleados por la empresa Grupo San Pío S.A.S para las actividades relacionadas con los ensayos de caracterización de agregados y producción de concreto.	21
5.2. Reconocimiento de las normativas relacionadas a la caracterización de diferentes agregados para la elaboración del concreto.....	21
5.3. Elaboración de plan de ensayo y de caracterización para los agregados disponibles en la planta.	22
5.4. Ejecución de los ensayos de caracterización de agregados.	22

5.5. Planteamiento de las combinaciones de arena según los resultados recopilados en los ensayos de caracterización.	31
5.6. Justificación de las posibles combinaciones de arena que se adapten a las necesidades técnicas para la elaboración del concreto.	31
5.7. Documentación y exposición de resultados.....	32
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	32
6.1. Identificación de los protocolos empleados por la empresa Grupo San Pío S.A.S para las actividades relacionadas con los ensayos de caracterización de agregados y producción de concreto.	32
6.2. Reconocimiento de las normativas relacionadas a la caracterización de diferentes agregados para la elaboración del concreto.....	33
6.3. Elaboración de plan de ensayo y de caracterización para los agregados disponibles en la planta.	33
6.4. Ejecución de los ensayos de caracterización de agregados.	35
6.5. Planteamiento de las combinaciones de arena según los resultados recopilados en los ensayos de caracterización.	42
6.6. Justificación de las posibles combinaciones de arena que se adapten a las necesidades técnicas para la elaboración del concreto.	44
6.7. Documentación y exposición de resultados.....	45
7. CONCLUSIONES	45
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1. Vaciado de concreto en obra. Fuente: Gestión Solidaria. https://www.gestionsolidaria.com/	10
Imagen 2. Cemento Portland. Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto (Kosmatka, Steven H. 2004).	11
Imagen 3. Agregado grueso o Grava. Fuente: Elaboración propia.	14
Imagen 4. Agregado Fino o Arena. Fuente: Laboratorio Grupo San Pío S.A.S. Elaboración Propia.....	15
Imagen 5. Ubicación de la empresa Grupo San Pío y los diferentes lugares de procedencia. Fuente: Google Earth.....	17

Imagen 6. Ubicación geográfica del municipio de Amagá y el agregado obtenido. Fuente: Elaboración propia	18
Imagen 7. Ubicación geográfica del corregimiento de Bolombolo y el agregado obtenido. Fuente: Elaboración propia.....	19
Imagen 8. Ubicación geográfica del municipio de La Pintada y los agregados obtenidos. Fuente: Elaboración propia.....	19
Imagen 9. Desembocadura del río Arma al río Cauca. Fuente: Flickr https://www.flickr.com/photos/mauricioagudelo/22321538862	20
Imagen 10. Lavado de agregado a través del tamiz No.200. Fuente: 360 en Concreto, https://www.360enconcreto.com/	23
Imagen 11. Juego de tamices. Fuente: JMR Equipos SAC	24
Imagen 12. Apisonamiento del agregado dentro del molde. Fuente: El concreto en la obra. Problemas, causa y soluciones.....	26
Imagen 13. Ensayo de cono para humedad superficial. Fuente: Elaboración propia.	27
Imagen 14. Picnómetros con agua y agregados. Fuente: Elaboración propia.	28
Imagen 15. Toma del peso sumergido del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia....	29
Imagen 16. Prueba de colorimetría. Fuente: Elaboración propia.....	30
Imagen 17. Clasificación de acuerdo a la prueba de colorimetría. Fuente: Elaboración propia	31
Imagen 18. Colorimetría Agregado de Amagá.	40
Imagen 19. Colorimetría Agregado de Bolombolo.	41
Imagen 20. Colorimetría Agregado de La Pintada 1.....	41
Imagen 21. Colorimetría Agregado de La Pintada 2.....	42

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Normas consideradas para la caracterización de los agregados disponibles.....	22
Tabla 2. Requisitos de gradación para el agregado fino. Fuente: Norma Técnica Colombiana (2018).....	24
Tabla 3. Requisitos de gradación para el agregado grueso. Fuente: Adaptado de Norma Técnica Colombiana (2018).....	25
Tabla 4. Evaluación de equipos.....	32
Tabla 5. Humedades consideradas para determinar la humedad promedio de cada agregado.....	35
Tabla 6. Humedad promedio para cada agregado según su procedencia.	36
Tabla 7. Distribución promedio del porcentaje que pasa por cada tamiz para el agregado grueso.....	36
Tabla 8. Distribución granulométrica promedio obtenida para los agregados finos según su procedencia.	37
Tabla 9. Módulo de Finura para cada agregado según su procedencia.....	38
Tabla 10. Valores de masa unitaria suelta y compacta promediados para cada agregado....	39
Tabla 11. Densidad Nominal, Densidad Aparente y Absorción del agregado grueso (Promedios).....	39

Tabla 12. Densidad Nominal, Densidad Aparente y Absorción del agregado fino (Promedios).....	40
Tabla 13. Resumen de datos	42
Tabla 14. Opciones de combinaciones.	43
Tabla 15. Distribución granulométrica obtenida para cada opción de combinación.....	43
Tabla 16. Módulos de finura para cada opción.....	44

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación para la determinación de la humedad natural del agregado. _____	23
Ecuación 2. Calculo del módulo de finura _____	25
Ecuación 3. Ecuación para determinar la masa unitaria suelta y compacta del agregado. _	26
Ecuación 4. Cálculo de la densidad Aparente. _____	28
Ecuación 5. Cálculo de la densidad nominal. _____	28
Ecuación 6. Cálculo de la Absorción. _____	28
Ecuación 7. Cálculo de la Densidad aparente para el agregado grueso. _____	29
Ecuación 8. Cálculo de la Densidad nominal para el agregado grueso. _____	29
Ecuación 9. Cálculo de la absorción para el agregado grueso. _____	29
Ecuación 10. Calculo del material pasante por un tamiz determinado. _____	43

LISTADO DE GRAFICOS

Grafico 1. Grafica distribución granulométrica para el agregado grueso. _____	37
Grafico 2. Distribución granulométrica para los agregados finos según su procedencia. ____	38
Grafico 3. Distribución granulométrica teórica para las opciones de combinación consideradas. _____	44

LISTADO DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Distribución de ensayos para el agregado fino. _____	34
Diagrama 2. Distribución de ensayos para el agregado grueso. _____	34

1. RESUMEN

La empresa Grupo San Pío S.A.S cuenta con una planta destinada a la producción del concreto ubicada en el municipio de Itagüí, donde se producen diferentes tipos de concretos prefabricados, que siguen los lineamientos propuestos por la Norma Técnica Colombiana para asegurar la calidad de las mezclas y de los materiales disponibles para ser utilizados en la producción. Debido a que se presenta la disponibilidad de diferentes tipos de agregados finos provenientes de distintos municipios, surgió la necesidad definir una combinación de estas que permita lograr el cumplimiento de las características técnicas estipuladas por la norma para obtener un buen desempeño mecánico.

Por este motivo, se realizó el proceso de caracterización de estos agregados para obtener los valores relacionados a la humedad, densidad, absorción y masa unitaria, además de conocer el contenido de impurezas o materia orgánica de cada agregado y realizar el respectivo análisis granulométrico. Con los datos obtenidos se realizó la verificación de la calidad, teniendo presente las especificaciones propuestas en la norma NTC-174 del 2018, a partir de ella, se determinó que el agregado con características más óptimas es el que proviene del municipio de La Pintada y el agregado con características más irregulares es el procedente del corregimiento de Bolombolo. Se dedujeron algunas combinaciones para el cumplimiento de los requerimientos estipulados por la norma buscando no utilizar el uso de un agregado con características irregulares. De las combinaciones resultantes se consideraron 3 opciones, sobre los que se realizó un análisis teórico para comparar la calidad del material utilizado en la producción de concreto por parte de la empresa. Las combinaciones obtenidas en el presente trabajo permitieron asegurar el alcance de los estándares aptos de calidad.

Palabras clave: Producción de concreto, Agregado Fino, Agregado grueso, Caracterización, Humedad, Análisis Granulométrico, Masa Unitaria, Densidad, Absorción, Contenido de Materia Orgánica, Modulo de Finura.

2. INTRODUCCION

La empresa Grupo San Pío S.A.S, ubicada en el municipio de Itagüí, tiene un largo recorrido histórico relacionado con la producción y distribución de materiales para la construcción. Desde su origen en el año de 1962 se ha encaminado con la diversificación de su actividad económica, tratando de profundizar cada vez más en las necesidades del sector de la construcción. Actualmente, esta empresa además de ser distribuidor y comercializador de materiales para la construcción; es también productor de concretos, prefabricados de pequeño formato, venta de agregados y figuración de hierro (Grupo San Pío, 2011).

Para la producción de concretos, se debe tener presente que el proceso productivo de control y calidad están establecidos bajo los lineamientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10 en el Capítulo C y los requerimientos de la NTC 3318 y las demás Normas Técnicas Colombianas que se deriven de estas. También, se debe considerar que todas las materias primas deben ser adquiridas de fuentes confiables y contar con procesos productivos estandarizados y reglamentados, de forma que se permita la producción de concretos de alta calidad (Kosmatka, 2004).

La cantidad de dichos materiales, definida a partir de la dosificación, juega un papel muy importante en la producción, en el control de las características (resistencia, tiempo de fraguado y manejabilidad) y calidad del concreto. Por este motivo, es clave realizar un análisis detallado de las combinaciones que suplan estas necesidades; para lograrlo es fundamental la caracterización de materiales. Dicho análisis es algo que la empresa Grupo San Pío S.A.S tiene en cuenta en sus procesos, y por ello posee un laboratorio donde se realizan los ensayos respectivos para el análisis de materiales y la consideración de parámetros óptimos para la dosificación del concreto.

Actualmente, el Grupo San Pío S.A.S cuenta con diferentes proveedores de agregados finos que son utilizados conjuntamente para la producción del concreto. Para estos agregados, se consideran 3 tipos de arenas procedentes de los municipios de Amagá, La Pintada y la quebrada Sinifaná, ubicada entre los municipios de Fredonia, Amagá y Venecia. A partir de algunos datos históricos, se han identificado el requerimiento de algunos ajustes de estos materiales, debido a que individualmente, no logran cumplir los requerimientos físicos y/o de desempeño por completo a las especificaciones establecidas en las normativas adoptadas o por requerimientos de la compañía.

Por este motivo, considerando la disponibilidad y características de estos materiales, determinada a partir de nuevos ensayos de caracterización de materiales, se busca definir una combinación en proporciones de arenas de dichas fuentes que logren satisfacer las especificaciones de gradación, y de esta forma, la empresa Grupo San Pío S.A.S pueda alcanzar altos estándares de calidad.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Definir una combinación óptima a nivel técnico del agregado fino para la producción de concretos; según la disponibilidad de arenas en la planta de concretos de la empresa, que permita lograr el cumplimiento del 100% de las características técnicas estipuladas en la norma para la obtención de un excelente desempeño mecánico en las mezclas producidas por Grupo San Pío S.A.S.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar la caracterización de agregado fino según la disponibilidad de materiales y equipos en la empresa Grupo San Pío.
- Determinar las características técnicas y especificaciones requeridas por la Normativa Técnica Colombiana vigente, aplicable al agregado fino, para la producción de concretos hidráulicos.
- Analizar las características físicas y mecánicas de los agregados finos disponibles en la planta para la elaboración de los concretos.
- Proponer combinaciones posibles del agregado fino; que cumplan con los requerimientos estipulados por la norma.
- Realizar evaluaciones de las combinaciones propuestas a nivel de laboratorio y evaluar los resultados obtenidos de resistencias, para determinar la combinación más óptima y de mejor desempeño mecánico.
- Recopilar recomendaciones del proceso.

4. MARCO TEORICO

4.1. Concreto

El concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Sanchez de Guzmán, 2001).



*Imagen 1. Vaciado de concreto en obra. Fuente: Gestión Solidaria.
<https://www.gestionsolidaria.com/>*

4.1.1. Clasificación del Concreto

El concreto tiene se puede clasificar de distintas maneras, todo esto depende de la variación de una o varias características, de acuerdo a Sánchez de Guzmán (2001), el concreto se puede clasificar así:

- Según el tamaño máximo del agregado; dentro de los que se encuentran la pasta de cemento, el mortero, concreto ciclópeo precolado, entre otros.
- Según su consistencia en estado fresco; puede ser muy seca, seca, media, húmeda o muy húmeda, dependiendo principalmente del sistema de colocación o método de vaciado.
- Según el tiempo de fraguado; puede ser concreto con retardante, con reductor de agua o con acelerante.
- Según la resistencia a la compresión; puede ser concreto de resistencia normal, de alta resistencia o de ultra resistencia cuando alcanza más de 14000 psi.

- Según su durabilidad, que depende de la exposición a las condiciones ambientales; pueden ser concretos de permeabilidad normal o impermeables; concretos resistentes a la acción del congelamiento y deshielo, concretos resistentes a soluciones que contienen sulfatos, concretos resistentes a la abrasión y concretos resistentes al fuego, entre otros.

- Según su peso unitario; pueden encontrarse concretos ligeros, normales y pesados.

- Según su apariencia; generalmente se considera esta clasificación para concretos fundidos in situ, y pueden ser concretos coloreados, de agregado expuesto, estampados o abusardados.

A parte de estos, existen muchas más clasificaciones, que dependen también de la obra en la que serán utilizados o también de la forma o el medio por el cual será vaciado (Sánchez de Guzmán, 2001).

4.2. Componentes

De acuerdo a la definición que se tiene del concreto, es importante conocer los conceptos de cada uno de sus componentes:

4.2.1. Cemento

El cemento es un polvo fino que cuando se mezcla con el agua se convierte en un pegamento que mantiene los agregados unidos en el concreto (Kosmatka, 2004).

Se obtiene al pulverizar el Clinker con adición de yeso. El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos (Gutierrez de Lopez, 2003).



Imagen 2. Cemento Portland. Fuente: *Diseño y control de mezclas de concreto* (Kosmatka, 2004).

4.2.1.1. Clasificación del cemento en Colombia

De acuerdo al autor Steven Kosmatka con su texto “Diseño y control de mezclas de concreto”, junto con la Norma Técnica Colombiana (NTC 30); los cementos colombianos se clasifican en seis tipos básicos:

- Cemento portland tipo 1, para el uso general. Este cemento puede, ser tipo 1-M, el cual presenta resistencias más elevadas, tipo 1-M-A y tipo 1-A, ambos con materiales inclusores de aire.
- Cemento portland de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación, el cual puede recibir material inductor de aire (tipo 2-A).
- Cemento portland tipo 3, el cual presenta alta resistencia inicial y puede recibir inductor de aire.
- Cemento portland tipo 4, el cual desarrolla bajo calor de hidratación.
- Cemento portland de alta resistencia a los sulfatos.
- Cemento portland blanco.

Además, la NTC 31 define al cemento portland como un material que se puede obtener tanto por la pulverización del clínker con el sulfato, como también puede recibir adiciones, que no interfieran en las propiedades de cada tipo de cemento. De igual manera, esta norma presenta seis tipos más de cemento:

- Cemento portland de escoria de alto horno, en el cual se permite la adición del 15% al 85% de escoria granulada de alto horno.
- Cemento siderúrgico supersulfatado, que es un producto que contiene escoria granulada de alto horno y pequeñas cantidades de clínker, cemento portland y cal hidratada, o una combinación de estos materiales y sulfato de calcio. El contenido de escoria de alto horno debe ser superior al 70% de la masa total.
- Cemento portland puzolánico, el cual posee un contenido de la materia conocida como puzolana entre el 25% y el 50% de la masa total.
- Cemento portland con adiciones, el cual puede presentar un contenido de diferentes adiciones del 15% al 30% de la masa total.

- Cemento de albañilería, que es un producto obtenido por la pulverización conjunta de clínker y materiales con propiedades hidráulicas, además de la adición de sulfato de calcio. El contenido de materiales adicionales debe estar comprendido entre el 15% y el 50% de la masa total.

- Cemento aluminoso, el cual se produce a través de la pulverización del clínker aluminoso, que debe presentar una cantidad de óxido de aluminio superior al 30% y la de óxido de hierro inferior a 20% de la masa total.

Los cementos comercialmente disponibles en el mercado colombiano son: tipo 1, tipo 1M, tipo 2, tipo 3, cemento siderúrgico, cemento ASTM tipo II y cemento blanco tipos 1 y 2.

4.2.2. Agua

Es el componente del concreto que genera las reacciones químicas del cemento, dándole la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados (Sanchez de Guzmán, 2001).

El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencias del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden establecer ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas sobre varias propiedades. Algunas impurezas pueden tener un pequeño efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado y aun afectar la durabilidad y otras propiedades (Kosmatka, 2004).

Se debe resaltar que la relación entre las proporciones de agua y cemento influyen directamente en la resistencia del concreto, esto quiere decir que, a mayor cantidad de agua con relación al cemento, menor será la resistencia; y a menor cantidad de agua con relación a la cantidad de cemento, será mayor la resistencia del concreto.

4.2.3. Agregados

Estos son materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento y el agua conforma un todo compacto denominado como concreto u hormigón.

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto (Kosmatka, 2004).

Los agregados se dividen en dos tipos según su tamaño:

4.2.3.1. Agregado Grueso

Este tipo de agregado debe estar compuesto por grava, grava triturada, roca triturada, u otros agregados reciclados o una combinación de ellos, conforme sean los requisitos (ICONTEC, 2018).



Imagen 3. Agregado grueso o Grava. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2. Agregado Fino

Es el tipo de agregado con el tamaño de partícula más pequeño en relación con el agregado grueso, debe estar compuesto por arena natural, arena triturada, u otro agregado reciclado, o una combinación de estas (ICONTEC, 2018).



Imagen 4. Agregado Fino o Arena. Fuente: Laboratorio Grupo San Pío S.A.S. Elaboración Propia.

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados friables (disgregables, deleznable o desmenuzables) o capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de rocas sedimentarias ricas en sílice, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales tales como las erupciones (Kosmatka, 2004).

4.3. Características de los agregados

Para conocer las características y propiedades físicas de los materiales a utilizar, en específico los agregados (finos y gruesos), se realizan una serie de ensayos cuyos resultados proveen una idea sobre la dosificación adecuada para la mezcla, ya sea para un concreto estructural, para una cimentación, o para carreteras, aquí se da la posibilidad de crear morteros o concretos de altas resistencias; de esta manera se complementa el control de calidad, conformado por el control de materias primas, la supervisión del proceso completo de fabricación y la verificación del producto terminado (Sanchez de Guzmán, 2001).

Los ensayos de los agregados tienen como propósito determinar la uniformidad, tales como las pruebas para control de humedad, masa específica relativa (densidad relativa) y granulometría de los agregados. Algunas pruebas se usan para ambos propósitos (Sanchez de Guzmán, 2001).

El proceso para hacer un diseño de mezcla de concreto, con los materiales comúnmente utilizados (grava, arena, cemento y agua) debe cumplir con las especificaciones de diseño asignadas por la Norma Técnica Colombiana a nivel nacional, y la ASTM aplicada internacionalmente.

Los ensayos a realizar, para determinar la calidad de los agregados (materia prima) son los siguientes:

- Análisis granulométrico para la determinación de la distribución del material de acuerdo al tamaño de las partículas y la cantidad de sustancias o elementos perjudiciales presentes en él (ICONTEC, 2007).
- Peso unitario suelto y compactado, se utiliza para determinar la relación existente entre la masa y el volumen del agregado, teniendo presente el cambio antes y después de ser compactado (ICONTEC, 1995).
- Densidad y absorción para agregado fino y para agregado grueso, usados para establecer los cambios de la masa debido al agua absorbida y en esta medida, hallar un valor para la densidad del material de acuerdo a las condiciones de humedad (ICONTEC, 1995).
- Colorimetría de la arena realizada a partir de la reacción del agregado fino frente a una solución compuesta de hidróxido de sodio y agua, con el fin de advertir de la presencia de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas que puedan generar efectos negativos sobre la calidad del concreto (ICONTEC, 2013).

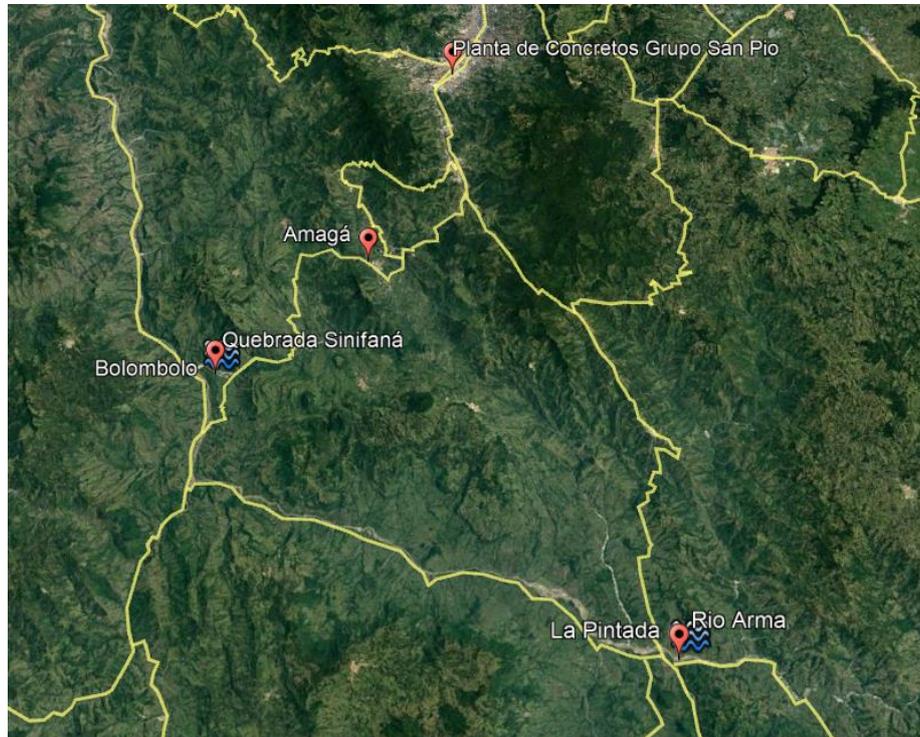
El uso de agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla (relleno adecuado para la mezcla, ya que reduce el contenido de pasta de cemento por metro cúbico), ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado, de curado y secado de la mezcla de concreto) y aportar a la resistencia final del material. Es un material que tiene una participación entre el 65% y el 70% del total de la mezcla de concreto (Silva, 2020).

Por eso es necesario que los materiales utilizados cumplan con las especificaciones establecidas en la norma NTC-174 de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos mencionados anteriormente.

4.4. Procedencia de los Agregados

Actualmente, el Grupo San Pío S.A.S cuenta con diferentes proveedores de agregados finos que son utilizados conjuntamente para la producción del concreto. Para estos agregados, se

consideran 4 tipos de arenas procedentes de los 3 lugares, el municipio de Amagá, la quebrada Sinifaná ubicada en el corregimiento de Bolombolo perteneciente al municipio de Venecia y el río Arma, ubicado en el municipio de La Pintada.



*Imagen 5. Ubicación de la empresa Grupo San Pío y los diferentes lugares de procedencia.
Fuente: Google Earth.*

4.4.1. Amagá

Según la información oficial presentada en la página web de la alcaldía de Amagá, la región se encuentra localizada en su mayor parte sobre la cordillera Central y Occidental presenta una topografía abrupta, diferenciada por la presencia del río Cauca, el cual la atraviesa de Sur a Norte.

Se menciona también que la geología de la región se caracteriza por la presencia de diferentes fallas, como la de Romeral y la falla de Sabanalarga. En cuanto a movimientos sísmicos, éstos han causado daños representativos y en general, donde se encuentran las filas geológicas, los reflejos son más significativos. También presenta una sucesión de rocas siliciclásticas continentales denominada Formación Amagá, de unos 1400 m de espesor, la cual posee aproximadamente 475 millones de toneladas de carbón límnico, explotable. El suroeste es una zona propensa a hundimientos y deslizamientos debido a la poca tecnificación de la explotación subterránea del carbón.

Las cabeceras municipales de la región, se caracterizan por estar en un piso térmico templado es decir entre 1.000 y 2.000 metros de altura sobre el nivel del mar, con una temperatura entre 21°C y 25°C, con tendencia al calor y al frío en sus límites superiores e inferiores. Además, la presencia de la cordillera Central y Occidental, los movimientos de masa de aire procedentes de las cuencas hidrográficas de costa pacífica son factores que determinarán una ecología que comprende desde las zonas muy secas hasta las zonas muy húmedas o lluviosas (Mi municipio, 2021).



Imagen 6. Ubicación geográfica del municipio de Amagá y el agregado obtenido. Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Bolombolo

Bolombolo es un corregimiento del municipio de Venecia, situado a 19 km de la cabecera municipal, cuenta con una extensión de 5.739 hectáreas, con una altura promedio entre los 550 y 900 msnm, temperatura promedio de 26°C. El uso del suelo dedicado especialmente a la ganadería; en los últimos años han cobrado gran importancia los frutales, el café, las flores, el plátano (Alcaldía de Venecia, 2020).

El municipio de Venecia se encuentra enmarcado geográficamente en la margen occidental de la cordillera Central (parte norte). Esta cordillera se caracteriza por tener un basamento de rocas metamórficas en lo que se denomina el Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central, que han sido afectadas por varios eventos tectometamórficos de bajo a medio grado de metamorfismo según los mismos autores. Estas rocas fueron intruídas en el Devónico por rocas plutónicas, representado por el Stock de Amagá. Además, al encontrarse en el límite geológico de la cordillera, definido por el sistema de fallas Cauca – Romeral, se encuentran

rocas ígneas básicas y ultra básicas pertenecientes al denominado Complejo Ofiolítico del Cauca, de edad Cretácea (Universidad Nacional, 1999).



Imagen 7. Ubicación geográfica del corregimiento de Bolombolo y el agregado obtenido.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. La Pintada



Imagen 8. Ubicación geográfica del municipio de La Pintada y los agregados obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

Este municipio se encuentra ubicado a 600 m.s.n.m. y tiene un clima cálido con una temperatura aproximada de 25°C. Está a una distancia de 75.5 km. de Medellín, recorrido que tiene una duración de 2 horas. Posee una extensión de 55 km² y su economía se basa en la

producción de frutas, ganadería y turismo (La Pintada, 2021); Allí se encuentra la desembocadura del río Arma al río Cauca, sirve de límites con los municipios antioqueños de Santa Bárbara, Abejorral, y Sonsón (Alcaldía municipal de Aguadas, 2018). Además de ser una fuente explotable de minerales y agregados utilizados para la construcción.

Limita al norte con los municipios de Fredonia y Santa Bárbara, por el oriente limita también con el municipio de Santa Bárbara; por el sur a su vez con el municipio de Valparaíso y con Aguadas (Caldas); y por el occidente con los municipios de Valparaíso, Fredonia y Támesis (La Pintada, 2021).



Imagen 9. Desembocadura del río Arma al río Cauca. Fuente: Flickr <https://www.flickr.com/photos/mauricioagudelo/22321538862>

5. METODOLOGÍA

Durante el tiempo otorgado para el desarrollo de prácticas empresariales, se definió la siguiente metodología de acuerdo a las tareas encomendadas y los requerimientos solicitados por la empresa Grupo San Pío SAS:

5.1. Identificación de los protocolos empleados por la empresa Grupo San Pío S.A.S para las actividades relacionadas con los ensayos de caracterización de agregados y producción de concreto.

Se inició con la identificación de los protocolos empleados por la empresa Grupo San Pío S.A.S para el desarrollo de las actividades relacionadas con los ensayos de caracterización de agregados y producción de concreto; empezando por la ubicación de la zona de trabajo, disponibilidad de materiales y equipos, y conocimiento de las normas relacionadas al proceso.

Dentro de estos protocolos se encontraban la verificación del estado de los equipos como las balanzas, horno, tamices, picnómetros y la prensa para realizar el análisis de la resistencia del concreto; la identificación del tipo y la cantidad de material disponible como los agregados y cemento. Paralelo a estos procesos se debía verificar el estado relacionado al fraguado de las muestras de concreto recolectadas el día anterior, también se debía tomar los datos relacionados con la humedad de cada agregado para luego iniciar la producción del concreto.

Para la caracterización de agregados, se debía cumplir con el análisis de mínimo 2 tipos de agregados por día, y un análisis por semana para cada agregado disponible; se debía considerar principalmente la disponibilidad y el orden en el que llegaba a la planta, de acuerdo a esto se debía separar una cantidad considerable de los agregados disponibles, lo suficiente como para obtener una muestra destinada al desarrollo de los diferentes ensayos destinados a la caracterización del agregado.

Los datos que se obtenían se debían recopilar al finalizar la semana para determinar la variación de las características de cada agregado y luego ser consideradas en la dosificación para la producción del concreto.

5.2. Reconocimiento de las normativas relacionadas a la caracterización de diferentes agregados para la elaboración del concreto.

Durante el tiempo de inducción se realizó un reconocimiento de las normativas relacionadas a la caracterización de diferentes agregados junto con su importancia para la elaboración del concreto y posteriormente llevarlas a cabo.

Este reconocimiento se realizó de acuerdo a los protocolos llevados a cabo y a los requerimientos de la empresa, donde se determinó el uso de siete normas propuestas por el ICONTEC en la Norma Técnica Colombiana.

Tabla 1. Normas consideradas para la caracterización de los agregados disponibles.

NORMAS CONSIDERADAS	
REFERENCIA	TITULO
NTC-77	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados.
NTC-78	Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz #200 en agregados minerales
NTC-92	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
NTC-127	Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto.
NTC-174	Especificaciones de los agregados para concreto
NTC-176	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.
NTC-237	Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

Estas normas debieron ser consideradas porque los datos utilizados para el desarrollo y producción de la dosificación del concreto se obtienen a partir de los ensayos allí propuestos. Además de que la disponibilidad de equipos permitía solo el uso de estas.

5.3. Elaboración de plan de ensayo y de caracterización para los agregados disponibles en la planta.

Teniendo presente la jornada de trabajo y las tareas que se debían realizar, se elaboró un plan de ensayo y de caracterización para los agregados disponibles en la planta, de acuerdo a los requerimientos de la empresa y considerando la disponibilidad de los equipos de trabajo, el tiempo promedio que se requería para realizar cada ensayo y que el tiempo adecuado para tener lista esta información tenía como plazo una semana; se analizó la posibilidad de realizar más de un ensayo a la vez, de forma que se logrará optimizar el uso del tiempo.

5.4. Ejecución de los ensayos de caracterización de agregados.

De acuerdo a las normas mencionadas en la tabla 1, se procedió con el desarrollo de los siguientes ensayos, considerando que para cada uno se realizaba con una muestra por cada agregado.

- Humedad

Como primera instancia se consideró el valor relacionado a la humedad natural que tenía el agregado, calculándose por medio de una cantidad determinada de este, definido por la relación descrita en la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{(\text{Peso del agregado humedo}) - (\text{Peso del agregado seco})}{\text{Peso del agregado humedo}} * 100$$

Ecuación 1. Ecuación para la determinación de la humedad natural del agregado.

Para el agregado fino se consideró una porción por agregado de mínimo 700 gramos y para el agregado grueso de 2500 g, de forma que se tuviera un valor más aceptable y a su vez se pudiera reutilizar este material para alguno de los ensayos como el análisis granulométrico descrito por la norma NTC- 77.

- Análisis Granulométrico

Considerado el ensayo anterior, se continuó con la ejecución de la norma NTC-78, donde se especifica el método para determinar el material que pasa el tamiz No. 200 por medio de lavado. Según lo indicado en esta norma, el agregado se lavó de una manera prescrita, usando agua pura o agua que contiene un agente dispersante. El agua de lavado decantada, que contiene material suspendido y disuelto, se pasó a través de un tamiz de 75 mm (No. 200). La pérdida de masa, resultado del tratamiento de lavado, se calculó como una porción de la masa de la muestra total, y se informó como el porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 mm (No. 200) obtenido por lavado.



Imagen 10. Lavado de agregado a través del tamiz No.200. Fuente: 360 en Concreto, <https://www.360enconcreto.com/>

Luego se consideró el análisis granulométrico por tamizado para cada agregado teniendo presente lo descrito por la norma NTC-77, que propone tener una muestra de agregado seco previamente pesada, a separar a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más reducidas para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas. Además, para realizar el respectivo análisis se considera la norma NTC-174, ya que en ésta se especifican las características y rangos dentro de los que deben estar los resultados del ensayo, de tal forma que se puedan satisfacer los requisitos relacionados con la calidad de los agregados.

Item	Tamaño de Apertura	Malla
1	75 mm (3")	3"
2	63 mm (2.5")	2 1/2"
3	50 mm (2")	2"
4	37.5 mm (1.5")	1 1/2"
5	25 mm (1")	1"
6	19 mm (0.750")	3/4"
7	12.5 mm (0.500")	1/2"
8	9.5 mm (0.375")	3/8"
9	6.3 mm (0.250")	1/4"
10	4.75 mm (0.187")	Nº 4
11	2.36 mm (0.0937")	Nº 8
12	2 mm (0.0787")	Nº 10
13	1.18 mm (0.0469")	Nº 16
14	850 µm (0.0331")	Nº 20
15	600 µm (0.0234")	Nº 30
16	425 µm (0.0165")	Nº 40
17	300 µm (0.0117")	Nº 50
18	250 µm (0.0098")	Nº 60
19	180 µm (0.0070")	Nº 80
20	150 µm (0.0059")	Nº 100
21	75 µm (0.0029")	Nº 200



Imagen 11. Juego de tamices. Fuente: JMR Equipos SAC

Según la norma NTC-174, el agregado debe cumplir con algunas especificaciones para estar dentro de los estándares de calidad, uno de estos está dado por el análisis granulométrico, ya que dispone de unos límites relacionados con la cantidad de material que pasa por cada tamiz durante el procedimiento, dichos requerimientos se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 2. Requisitos de gradación para el agregado fino. Fuente: Norma Técnica Colombiana (2018)

GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS FINOS	
TAMIZ (Según NTC 32)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm (3/8 de pulgada)	100
4,75 mm (No. 4)	95 - 100
2,36 mm (No. 8)	80 - 100
1,18 mm (No. 16)	50 - 85
600 µm (No. 30)	25 - 60
300 µm (No. 50)	5 - 30
150 µm (No. 100)	0 - 10
75 µm (No. 200)	0 - 3

Tabla 3. Requisitos de gradación para el agregado grueso. Fuente: Adaptado de Norma Técnica Colombiana (2018)

GRANULOMETRIA PARA AGREGADO GRUESO														
Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
57	25,0 mm a 4,75 mm	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-

En el caso del agregado grueso se considera los valores mostrados en la tabla anterior, dado a la característica relacionada con el tamaño nominal del material disponible. Además, para el agregado fino, según esta norma, se determinó que el valor del módulo de finura estuviera en un rango entre 2,3 y 3,1 y el porcentaje de material que pase el tamiz No. 200 no fuera superior al 5% de la masa total.

El módulo de finura está dado por la ecuación:

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado de los tamices } \left(\frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100\right)}{100}$$

Ecuación 2. Calculo del módulo de finura

- Masa unitaria

Al mismo tiempo que se realizaba el anterior proceso, se separó otra parte del agregado de tal forma que se obtuviera una cantidad que alcanzara un peso de aproximadamente 15 kg que luego debía ser secada en horno para luego determinar la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados siguiendo la norma NTC-92, donde se tiene presente la masa unitaria en estado suelto y la masa unitaria compactada.

Este procedimiento consistía en llenar con el agregado un molde de masa y volumen fijos en dos instantes. En uno de los instantes el llenado del molde debía ser constante hasta que alcanzar por completo el llenado para luego ser enrasado y obtener el valor de su peso donde se consideraba la masa unitaria suelta; en el otro instante se debía realizar el llenado considerándose en tres fases donde cada una conformara una capa de aproximadamente un tercio del volumen completo del molde; a cada una de estas capas se le aplicaba un método descrito en la norma, el cual consistía en el apisonamiento con una varilla estandarizada por medio de 25 golpes para luego ser enrasada y al final obtener su respectivo peso.



Imagen 12. Apisonamiento del agregado dentro del molde. Fuente: *El concreto en la obra. Problemas, causa y soluciones.*

Para determinar los valores de la masa unitaria, se utilizaba la siguiente ecuación:

$$Mu = \frac{M}{V}$$

Ecuación 3. Ecuación para determinar la masa unitaria suelta y compacta del agregado.

Donde:

- Mu es el valor de la masa unitaria dado en unidades de kg/m^3 .
- M es el valor de la masa contenida en el molde ya sea durante el estado suelto o cuando está compactada, se expresa en unidades de kg.
- V es el valor del volumen que posee el molde, expresado en unidades de m^3 .

-Densidad y Absorción.

Después se pudo proceder con el desarrollo de los ensayos destinados a la obtención de la densidad y la absorción tanto para los agregados finos como para los agregados gruesos.

Para el agregado fino se realizaba el ensayo descrito por la norma NTC-237, donde se recomendaba separar una cantidad de aproximadamente 1000 g de agregado y se consideraban varios procesos:

El primero se enfocaba en lograr una condición superficialmente seca del agregado, ya sea humedeciendo la muestra y dejándola secar hasta llegar al estado requerido, o siendo el caso, no siendo necesario humedecerla, ya que en algunas ocasiones el agregado se encontraba considerablemente húmedo.

El segundo se enfocaba en verificar esta condición por medio del ensayo del cono, que consistía en sostener el molde en forma de cono firmemente sobre una superficie lisa no absorbente con el diámetro superior hacia abajo. Se colocó una porción del agregado fino parcialmente seco de manera suelta en el molde llenándolo hasta que se rebose y acumulando material adicional por encima del borde superior del molde sosteniéndolo con los dedos de la mano, en forma de copa. Se apisonó ligeramente el agregado fino dentro del molde con 25 caídas leves y libres del pisón. Cada caída debía comenzar aproximadamente 5 mm sobre la superficie superior del agregado fino, ajustándola según la nueva elevación de la superficie después de cada apisonada, y distribuyéndolas sobre la superficie. Se removió la arena suelta de la base y se levantó el molde verticalmente. Se verificó la humedad superficial presente a partir de que el agregado conservara la forma del molde y el alcance de la condición superficialmente seca cuando el agregado fino se asentó levemente.



Imagen 13. *Ensayo de cono para humedad superficial. Fuente: Elaboración propia.*

Verificada esta condición se procedió a separar una parte de esta muestra que alcanzara 500 g aproximadamente y luego se introdujo en un picnómetro o balón aforado de fondo plano, para después llenarlo de agua hasta el 90% de su capacidad y proceder a la eliminación de burbujas de aire por medio de agitación. Se ajustó su temperatura hasta $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por inmersión en agua en circulación, y se llevó el nivel del agua en el picnómetro hasta su capacidad calibrada. Se determinó la masa total del picnómetro, con la muestra y el agua.



Imagen 14. Picnómetros con agua y agregados. Fuente: Elaboración propia.

Como paso final se removió el agregado del picnómetro y se procedió a secarlo en horno hasta obtener una masa constante y luego se procedió con los cálculos considerando las siguientes ecuaciones:

$$D_a = 0,9975 * \frac{A}{(B+S-C)}$$

Ecuación 4. Cálculo de la densidad Aparente.

$$D_m = 0,9975 * \frac{A}{(B+A-C)}$$

Ecuación 5. Cálculo de la densidad nominal.

$$A_b = \frac{(S-A)}{A} * 100$$

Ecuación 6. Cálculo de la Absorción.

Donde:

- “Da” es la densidad aparente, expresada en g/cm³.
- “Dm” es la densidad nominal, expresada en g/cm³.
- “Ab” es la absorción de la muestra, expresada en porcentaje.
- “A” es la masa en el aire de la muestra secada al horno, expresada en g.
- “B” es la masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración, expresada en g.
- “S” es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca, expresada en g.
- “C” es la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración, expresada en g.

Para obtener un valor para la densidad y la absorción de los agregados gruesos, se siguieron los procesos descritos por la norma NTC-176, el cual sugiere que una muestra de agregado (entre 2,5 y 3 kg) se sumerge en agua durante 24 h aproximadamente para saturar los poros. Luego se removió el agua y se secó la superficie de las partículas, para determinar su masa y ser sumergida en agua. Finalmente, la muestra se secó al horno y se determinó su masa una tercera vez. Se usaron las masas obtenidas para calcular dos tipos de densidad y la absorción.



Imagen 15. Toma del peso sumergido del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

Estos cálculos se realizan haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$Da = 0,9975 * \frac{A}{(B-C)}$$

Ecuación 7. Cálculo de la Densidad aparente para el agregado grueso.

$$Dn = 0,9975 * \frac{A}{(A-C)}$$

Ecuación 8. Cálculo de la Densidad nominal para el agregado grueso.

$$Ab = \frac{(B-A)}{A} * 100$$

Ecuación 9. Cálculo de la absorción para el agregado grueso.

Donde

- “Da” es la densidad aparente expresada en kg/m³.

- “Dn” es la densidad nominal expresada en kg/m^3 .
- “Ab” es la absorción expresada en porcentaje
- “A” es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno, expresada en g.
- “B” es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca, expresada en g.
- “C” es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada, expresada en g.

- Contenido de materia orgánica

El último ensayo en considerarse es el relacionado al contenido de impurezas orgánicas en el agregado fino, que se podía realizar en conjunto con los otros ensayos y estaba descrito por la norma NTC-127.

Este ensayo consistió en agregar una cantidad de agregado a una botella de vidrio transparente estandarizada por la norma, de tal forma que se alcance un volumen de 130 ml y luego se le adicionó una solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de agregado fino y de líquido, indicado después de agitarlos, fuera de 200 ml aproximadamente. A continuación, se dejó en reposo por 24 horas para después realizar el análisis de su color comparándolos con una tabla con vidrios de color estándar descritos en la norma.



Imagen 16. Prueba de colorimetría. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la norma estos colores se podían interpretar como si el agregado era aceptable, o su contenido de materia orgánica podía ser perjudicial según el rango del color.

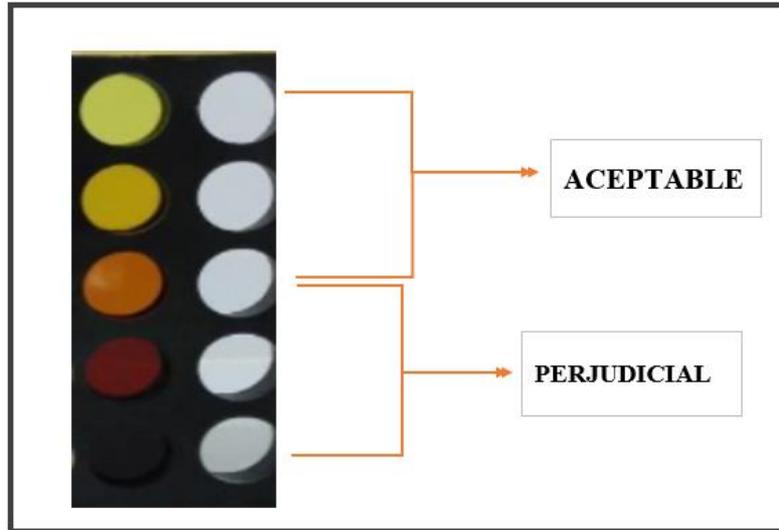


Imagen 17. Clasificación de acuerdo a la prueba de colorimetría. Fuente: Elaboración propia

5.5. Planteamiento de las combinaciones de arena según los resultados recopilados en los ensayos de caracterización.

Como el proceso de caracterización se debía repetir cada semana para cada agregado, según los requerimientos estipulados por la empresa, se realizó una recopilación de datos relacionados a los diferentes tipos de agregados finos para analizar su variación con respecto a los resultados obtenidos en ensayos anteriores y plantear una combinación de estos, la cual consiste en una mezcla de diferentes proporciones de cada agregado, de tal forma que se lograra adaptar a los requisitos definidos por la norma NTC-174.

Para cada agregado se debía realizar 5 ensayos (uno por cada norma considerada), ya que esta cantidad estaba dentro de los rangos propuestos por la norma y además se contaba con la disponibilidad de equipos que permitían realizar estos ensayos.

De acuerdo a esto y teniendo presente el tiempo durante el cual se realizó la etapa de prácticas, se dispuso de un periodo de 2 meses en el que se recopilaban los datos utilizados para el cálculo, en promedio se obtenían 6 datos por cada ensayo para cada tipo de agregado.

5.6. Justificación de las posibles combinaciones de arena que se adapten a las necesidades técnicas para la elaboración del concreto.

Teniendo presente una dosificación teórica para el desarrollo de una mezcla de concreto determinada de acuerdo a los procesos realizados en la empresa y los métodos de preparación que se utilizaban allí, se realizó la comparación entre las

características de la combinación obtenida, con las características del agregado fino utilizado en la producción del concreto en la empresa grupo San Pío SAS, el cual se ajustaba estrictamente a los requerimientos propuestos en la norma NTC-174, con lo cual se enfocó principalmente en alcanzar los rangos óptimos relacionados a la distribución granulométrica, módulo de finura y calidad del material, y de esta forma se determinaba su factibilidad .

5.7. Documentación y exposición de resultados.

A medida que se iban realizando los ensayos, se recopiló la información, de forma que se fuera considerando los estados en los que se encontraban las diferentes características de cada tipo de agregado, para luego determinar cuáles eran los que necesitaban más atención o debían ser reportados para que no afectaran las características del concreto. Del mismo modo, al encontrar tipos de arenas con características favorables, se procedía a considerar la evaluación de las combinaciones.

El desarrollo de este proceso se plasmó en el presente documento.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

6.1. Identificación de los protocolos empleados por la empresa Grupo San Pío S.A.S para las actividades relacionadas con los ensayos de caracterización de agregados y producción de concreto.

Con la identificación de los protocolos, se encontró van de la mano con los procesos estipulados por la Norma Técnica Colombiana; se verificó el estado de los equipos disponibles:

Tabla 4. Evaluación de equipos.

EQUIPO	ESTADO
Balanzas	Bueno
Horno	Bueno
Picnómetros	Bueno
Juego de Tamices	Bueno
Moldes- Masa unitaria	Bueno
Solución- Materia Organica	Bueno

También se identificaron los diferentes tipos de agregados finos, los cuales eran cuatro y se clasificaron de acuerdo a sus procedencias: uno de Amagá, uno Bolombolo y dos de La Pintada. Según la disponibilidad en el instante requerido, se procedió con la respectiva caracterización, que se define a partir de los ensayos descritos en la Norma Técnica Colombiana; y después de obtenidos los datos se procedió con un análisis detallado de las características de cada agregado, lo cual se alcanzaba a realizar al quinto día de la semana.

6.2. Reconocimiento de las normativas relacionadas a la caracterización de diferentes agregados para la elaboración del concreto.

De acuerdo a los requerimientos para la dosificación del concreto, se determinó las características que se debía conocer para cada agregado. Tanto para el agregado grueso, como el agregado fino; se necesitó la información acerca de la masa unitaria o la relación de la masa por unidad de volumen, por lo que se remitió a la norma NTC-92, donde se conocía esta característica en estado suelto y compacto; también se necesitaba conocer información acerca de la distribución granulométrica, referenciada en la norma NTC-77 y NTC-78. Por otra parte, se debía conocer información acerca de la densidad y la absorción para cada agregado, lo que se pudo realizar a partir de las normas NTC-176 para el agregado grueso y NTC-237 para el agregado fino. Para estos requerimientos, también era necesario conocer el contenido de materia orgánica que poseía el agregado fino, lo que se pudo determinar por medio de la norma NTC-127.

En consecuencia, era necesario saber si los resultados obtenidos en varios de estos ensayos se ajustaban a los estándares de calidad, por lo que fue necesario recurrir a la norma NTC-174, donde se determinan los rangos de los valores que son recomendables para que esto se cumpla.

6.3. Elaboración de plan de ensayo y de caracterización para los agregados disponibles en la planta.

De acuerdo al análisis que se realizó para conocer qué tan factible era la opción de realizar más de un ensayo a la vez, se determinó por un medio de un diagrama cuales eran las principales consideraciones para realizar un ensayo individualmente, y si uno dependía del desarrollo de otro; es así como se obtuvieron los siguientes órdenes para el proceso, tanto para el agregado grueso, como para el agregado fino:

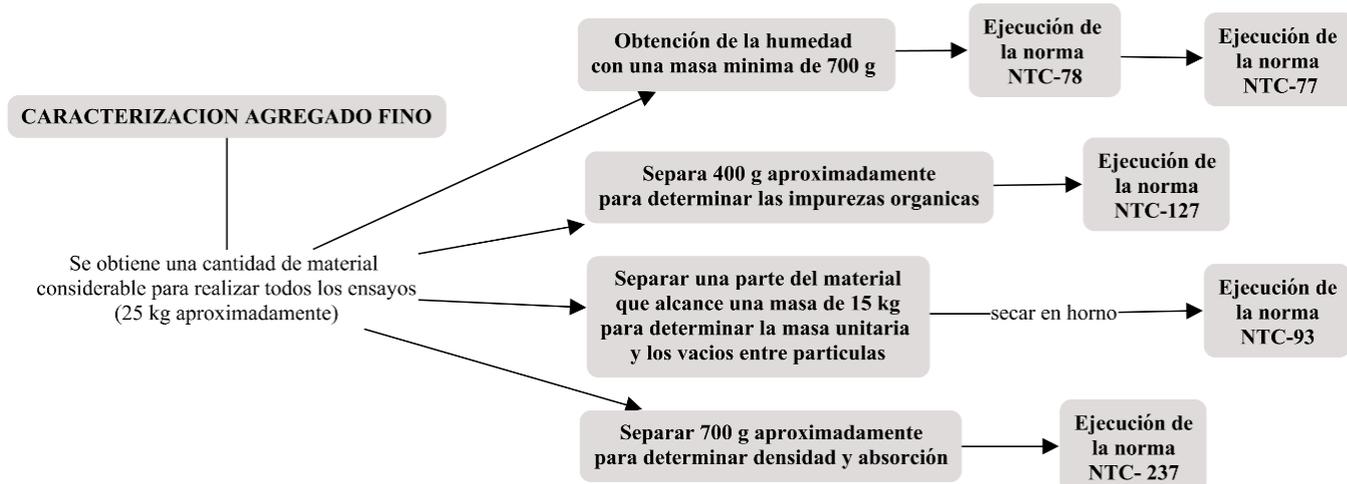


Diagrama 1. Distribución de ensayos para el agregado fino.

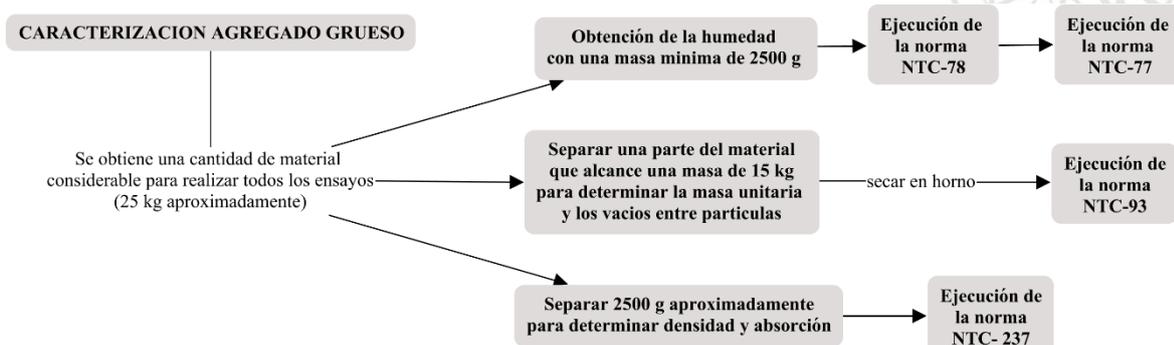


Diagrama 2. Distribución de ensayos para el agregado grueso.

Fue posible determinar que no había problema con empezar varios ensayos en el mismo instante, lo que permitió optimizar el tiempo para el análisis de todos los agregados. Siguiendo los procesos descritos por las diferentes normas, se pudo establecer que el tiempo requerido para tener la información completa relacionada a la caracterización de los agregados era de 24 horas, debido a las condiciones establecidas en las normas para determinar la densidad y absorción de los agregados, y también la prueba para determinar el contenido de materia orgánica, donde en una de sus especificaciones se establece disponer de tiempos que abarcan estas horas, además como agregados no tenían una hora determinada para llegar a la empresa, se optaba por empezar con los dos agregados que estuvieran en ese instante.

De esta manera se pudo alcanzar un nivel considerable de eficiencia, debido a que por día se lograba obtener la caracterización de dos agregados, lo que permitía disponer de la información dentro del tiempo límite de una semana.

6.4. Ejecución de los ensayos de caracterización de agregados.

En esta empresa se contaba con 5 tipos de agregados, de los cuales cuatro son agregados finos (arenas), y el faltante es el agregado grueso (gravas).

Estos agregados finos tenían diferentes especificaciones y procedencias; uno provenía del corregimiento de Bolombolo perteneciente al municipio de Venecia y lugar del cual provenía también el agregado grueso; otro provenía del municipio de Amagá y los demás procedían de dos zonas particulares del municipio de La Pintada.

Dentro de las características visuales se podía observar que el agregado de Amagá poseía un color amarillento, fácil de reconocer en comparación con los demás agregados; el agregado proveniente de Bolombolo solía tener un color oscuro, mientras que los dos agregados provenientes de la pintada solían tener un color grisáceo; estos últimos se podían diferenciar de acuerdo a su finura.

Nota:

Para fines relacionados a los cálculos, se decide nombrar los dos agregados pertenecientes al municipio de la pintada como “La Pintada 1” y “La pintada 2”.

- Humedades

Para obtener este dato, se hizo uso de la Ecuación 1; siendo el que presentaba mayor dispersión con relación al tiempo, debido a los cambios de clima de las diferentes procedencias de los agregados. Por esta razón se consideró realizar un promedio con las humedades menos dispersas para cada Agregado presentadas en la siguiente tabla:

Tabla 5. Humedades consideradas para determinar la humedad promedio de cada agregado.

	HUMEDADES CONSIDERADAS			
AMAGÁ	11.83%	11.57%	11.88%	10.77%
BOLOMBOLO	9.18%	7.42%	7.79%	8.20%
LA PINTADA 1	6.26%	7.10%	7.90%	5.47%
LA PINTADA 2	9.77%	8.33%	7.47%	10.23%

Para la humedad del agregado grueso, no fue necesario realizar este proceso, debido a que no presentaba una dispersión considerable, por lo tanto, se desarrolló el cálculo promedio con todos los datos obtenidos para este tipo de agregado.

Por otra parte, con los datos presentados en la tabla 4, realizaron los promedios correspondientes a las humedades de cada agregado, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6. Humedad promedio para cada agregado según su procedencia.

	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO
	BOLOMBOLO	AMAGÁ	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2	BOLOMBOLO
Humedad Promedio	8.15%	11.51%	6.68%	8.95%	1.71%

De acuerdo a estos resultados se contempla que el agregado que suele estar más húmedo es el que proviene del municipio de Amagá, mientras que el agregado que suele estar menos húmedo es el agregado grueso; aunque estos datos pueden tener una variación considerable con el transcurso del tiempo, debido a factores externos relacionados con el clima o el sitio de almacenaje.

- **Análisis granulométrico**

Este proceso se realizó siguiendo las especificaciones propuestas por la Norma Técnica Colombiana, considerando un análisis promedio que abarcara todos los ensayos realizados durante un tiempo aproximado de 4 meses para cada tipo de agregado.

De acuerdo a esto, al realizar el análisis granulométrico para el agregado grueso, se dispuso de los requerimientos dados para un tipo de agregado cuyo tamaño máximo de partícula se encuentre entre ¾” y 1”, lo que era estipulado por el proveedor. Por consiguiente, como resultado de gradación promedio, se obtuvo la siguiente distribución:

Tabla 7. Distribución promedio del porcentaje que pasa por cada tamiz para el agregado grueso.

AGREGADO GRUESO		
Tamiz		Material que Pasa
Pulg	mm	%
3/4	19.05	85.35
1/2	12.50	32.76
3/8	9.53	14.40
No 4	4.75	2.71
No 8	2.36	0.88
No 200	0.08	0.07
Fondo		0.81

Con esta información se procedió a realizar el gráfico de distribución granulométrica correspondiente, considerando los requerimientos propuestos en la tabla 3:

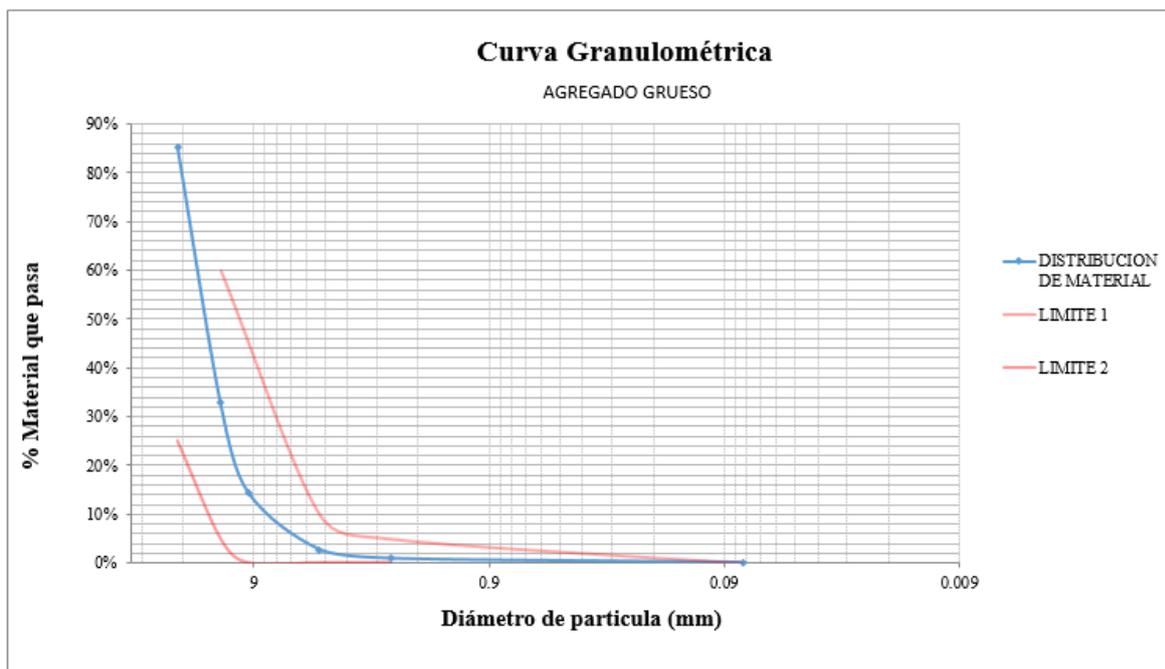


Grafico 1. Grafica distribución granulométrica para el agregado grueso.

En el grafico 1 se logra contemplar que la curva generada por la distribución granulométrica promedio obtenida, se encuentra dentro de los requerimientos propuestos por la norma NTC-174 relacionados con los límites de las cantidades de material que pasa por tamices específicos, lo que asegura su calidad con respecto a su gradación para el proceso de producción del concreto.

De manera semejante se realizó el análisis granulométrico para los diferentes tipos de agregados finos disponibles, donde se consideró al igual que el agregado un análisis promedio que abarcara todos los ensayos realizados en un tiempo determinado de 4 meses para cada tipo de agregado y tomando como referencia los requerimientos determinados en la norma NTC-174. Para dicho análisis se obtuvieron las siguientes distribuciones:

Tabla 8. Distribución granulométrica promedio obtenida para los agregados finos según su procedencia.

Pulg	AGREGADO FINO			
	PORCENTAJE QUE PASA (PROMEDIOS)			
	BOLOMBOLO	AMAGÀ	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2
3/8	99.91%	100.00%	100.00%	99.87%
No 4	98.47%	99.89%	98.92%	99.39%
No 8	72.22%	83.34%	80.00%	84.69%
No 16	49.64%	53.34%	55.63%	63.06%
No 30	31.70%	29.16%	28.95%	36.75%
No 50	17.85%	14.77%	12.19%	17.73%
No 100	6.22%	6.14%	3.76%	5.86%
No 200	0.71%	0.96%	0.37%	0.77%
Fondo	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Con estos datos se procedió a realizar un análisis grafico en conjunto de las distribuciones granulométricas de los agregados según su procedencia a partir de los requisitos propuestos en la tabla 2.

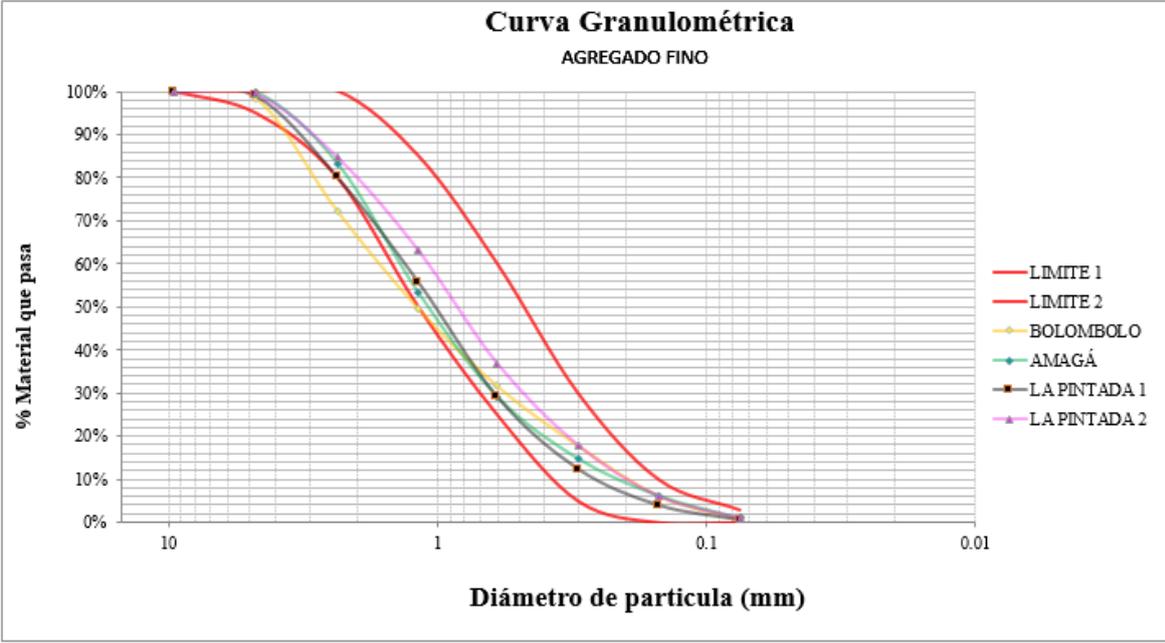


Grafico 2. Distribución granulométrica para los agregados finos según su procedencia.

De acuerdo a este gráfico y a los requerimientos propuestos por la norma NTC-174 en relación con los límites de material que pueden pasar por cada tamiz especificado en la tabla 2, se logra apreciar que algunos agregados se desvían un poco de estas consideraciones; como es el caso de los agregados de Bolombolo y La Pintada 1.

Por otra parte, dentro de los requerimientos se encuentra también los rangos relacionados al módulo de finura del agregado fino, el cual se calcula haciendo uso de la ecuación 2 y debe dar un valor mayor a 2,3 y menor a 3,1. Para los agregados analizados se determinó este valor a partir de la distribución promedio de cada agregado, teniendo como resultado los valores que se presentan a continuación:

Tabla 9. Módulo de Finura para cada agregado según su procedencia.

	AMAGÁ	BOLOMBOLO	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2
Módulo de finura	3.13	3.24	3.21	2.93

De acuerdo a estos resultados y considerando los rangos dentro de los que debe estar el valor del módulo de finura, se puede apreciar que el único agregado que satisface esta condición es el de La Pintada 2; por tanto, este tipo de agregado fino sería el único que se podría considerar por si solo para emplearse en la producción del concreto según la cantidad determinada en la dosificación.

- **Masa unitaria**

Siguiendo los procesos descritos en la norma NTC-92, el uso de la ecuación 3 y contemplando la frecuencia con la que se realizaba este ensayo en cada agregado, se determinó un valor promedio de masa unitaria para cada uno, presentados en la siguiente tabla:

Tabla 10. Valores de masa unitaria suelta y compacta promediados para cada agregado.

	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO
	AMAGÁ	BOLOMBOLO	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2	BOLOMBOLO
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1332.43	1559.05	1633.69	1637.55	1571.92
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1590.22	1799.40	1801.83	1831.86	1732.20

Con estos valores y la definición de la masa unitaria como la cantidad de masa necesaria para llenar un volumen determinado, se contempla que el agregado que presenta un valor más alto es el de La Pintada 2, mientras que el agregado que presenta una mayor variación entre el estado suelto y compacto es el de Amagá, ya que presenta una variación de 257,79 kg/m³.

- **Densidad y Absorción**

De acuerdo a los procedimientos descritos en las normas NTC-176 y NTC-237, se determinó valores promedios para la densidad y absorción de los diferentes agregados, considerando las repeticiones y los datos obtenidos durante el tiempo de trabajo.

Para el agregado grueso se usaron las ecuaciones de 7, 8 y 9; obteniendo los siguientes valores promediados de acuerdo a las veces que se realizó el ensayo:

Tabla 11. Densidad Nominal, Densidad Aparente y Absorción del agregado grueso (Promedios).

AGREGADO GRUESO	
DENSIDAD Y ABSORCIÓN	
Densidad nominal (kg/m ³)	2.84
Densidad aparente (kg/m ³)	2.74
Absorción (%)	1.16

Para el agregado fino se usaron las ecuaciones de 4, 5 y 6; obteniendo los siguientes valores promediados de acuerdo a las veces que se realizó el ensayo en cada agregado:

Tabla 12. Densidad Nominal, Densidad Aparente y Absorción del agregado fino (Promedios).

	AGREGADO FINO			
	AMAGÁ	BOLOMBOLO	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2
Densidad aparente (g/cm ³)	2.49	2.70	2.76	2.68
Densidad nominal (g/cm ³)	2.59	2.83	2.84	2.79
Absorción (%)	1.45	1.73	1.06	1.47

Con estos datos se logra apreciar que los agregados que poseen niveles de densidad más altos son el agregado grueso y el agregado fino proveniente de La Pintada 1, mientras que el agregado que alcanza un nivel considerable de absorción es el que proviene de Bolombolo.

- **Contenido de materia orgánica**

Este ensayo se realizó siguiendo los requerimientos propuestos en la norma NTC-127 para cada tipo de agregado fino, para fines de trabajo se consideran dos muestras representativas por cada uno de los agregados disponibles realizando su respectiva comparación con la descripción dada por la imagen 17, a continuación, se presentan los resultados obtenidos:

- Para el agregado de Amagá, se obtuvo una calificación aceptable.

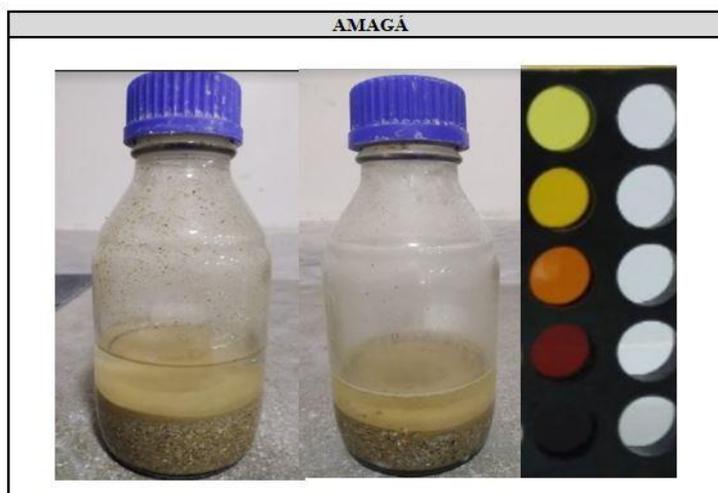


Imagen 18. Colorimetría Agregado de Amagá.

- Para el agregado de Bolombolo, se obtuvo una calificación aceptable para una de las muestras, y perjudicial para la otra; por tal motivo se recomienda llevar un análisis más detallado de este agregado.

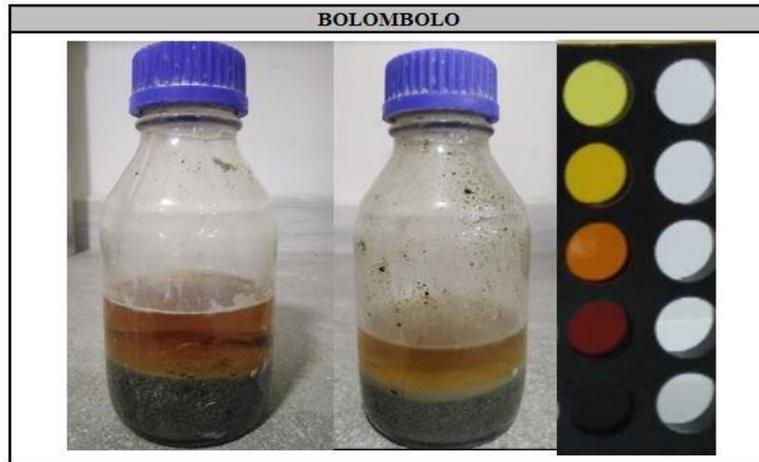


Imagen 19. Colorimetría Agregado de Bolombolo.

- Para el agregado de La Pintada 1, se obtuvo una calificación aceptable.

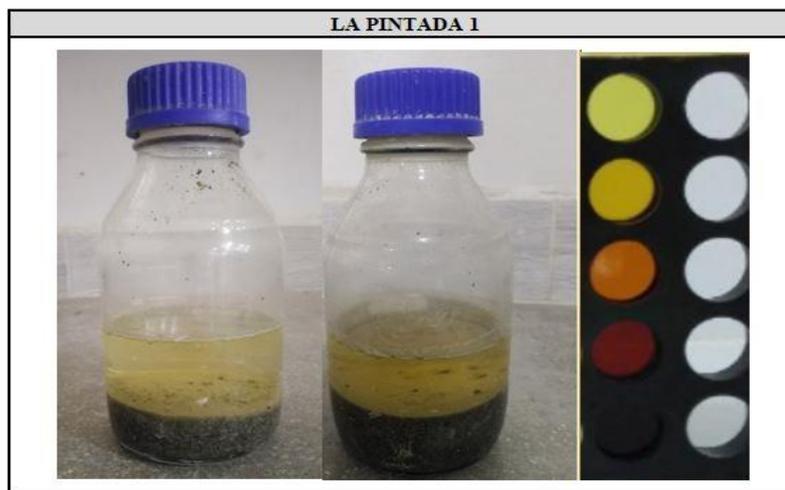


Imagen 20. Colorimetría Agregado de La Pintada 1.

- Para el agregado de La Pintada 1, se obtuvo una calificación aceptable.

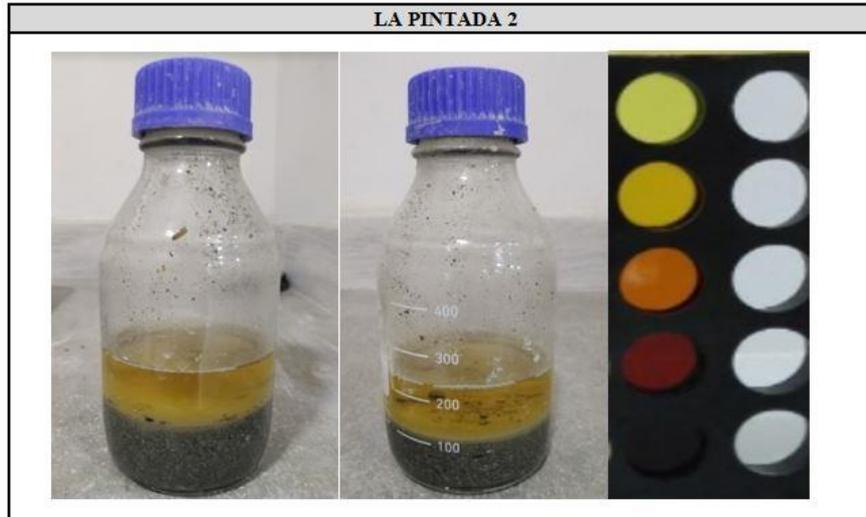


Imagen 21. Colorimetría Agregado de La Pintada 2.

De acuerdo a estos resultados, se logra apreciar que se debe tener un trato más especial con el tipo de agregado proveniente de Bolombolo, debido a que sus niveles de contenido de materia orgánica son considerables con respecto a la clasificación de la tabla de colorimetría.

Tabla 13. Resumen de datos obtenidos

	RESUMEN DE DATOS				
	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO
	AMAGÁ	BOLOMBOLO	LA PINTADA 1	LA PINTADA 2	BOLOMBOLO
Masa unitaria suelta (Kg/m ³)	1332.43	1559.05	1633.69	1637.55	1571.92
Masa unitaria compactada (Kg/m ³)	1590.22	1799.40	1801.83	1831.86	1732.20
Humedades (%)	6.93%	12.43%	8.10%	7.88%	1.71%
Densidad aparente (g/cm ³)	2.49	2.70	2.76	2.68	
Densidad nominal (g/cm ³)	2.59	2.83	2.84	2.79	
Absorción (%)	1.45	1.73	1.06	1.47	
Modulo de finura	3.13	3.24	3.21	2.93	
Materia Organica	Aceptable	Regular	Aceptable	Aceptable	

6.5. Planteamiento de las combinaciones de arena según los resultados recopilados en los ensayos de caracterización.

A partir de los datos obtenidos durante la caracterización de los diferentes agregados, se decidió plantear una combinación considerando los agregados disponibles y su calidad determinada por medio de los ensayos realizados, de donde surgió la posibilidad de descartar el uso del agregado proveniente de Bolombolo, debido a la regularidad en los resultados relacionados con el análisis granulométrico y contenido de materia orgánica.

Estas combinaciones se determinan a partir de un tanteo teórico del análisis granulométrico, considerando distintas proporciones de cada agregado disponible y su respectivo porcentaje de material pasante por cada tamiz, lo que se definirá a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pasante por el Tamiz } X = \sum (P1 * B1) + (P2 * B2) + \dots + (Pn * Bn)$$

Ecuación 10. *Calculo del material pasante por un tamiz determinado.*

Donde:

- “X” es el numero o medida de la maya del tamiz.
- “Pn” es la proporción estimada del agregado individual con respecto al agregado combinado.
- “Bn” es el porcentaje pasante por el tamiz X del agregado considerado.

De esta manera se procede a realizar el tanteo definiendo diferentes proporciones y teniendo presentes los requerimientos; siendo así como se determinan las siguientes combinaciones que alcanzan a cumplir los diferentes requerimientos:

Tabla 14. *Opciones de combinaciones.*

	OPCIONES %			
	A	B	C	D
PROCOPAL	0	0	0	0
AMAGÀ	50	40	0	30
GAVIRIA	0	30	0	10
SAN LORENZO	50	30	100	60

Para cada una de estas opciones se realizó el análisis teórico, aplicando la ecuación 10 para así obtener las siguientes distribuciones:

Tabla 15. *Distribución granulométrica obtenida para cada opción de combinación.*

AGREGADO FINO ESPERADO					
Tamiz		Material que pasa (%)			
Pulg	mm	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D
3/8	9.525	99.933	99.960	99.866	99.92
No 4	4.750	99.643	99.450	99.395	99.50
No 8	2.360	84.012	82.740	84.687	83.81
No 16	1.180	58.199	56.942	63.063	59.40
No 30	0.600	32.953	31.373	36.747	33.69
No 50	0.300	16.250	14.882	17.731	16.29
No 100	0.150	6.001	5.343	5.858	5.73
No 200	0.075	0.862	0.724	0.767	0.78

Del mismo modo se consideró un valor teórico del modulo de finura obtenido a partir de los datos presentes en la tabla anterior.

Tabla 16. Módulos de finura para cada opción.

	OPCIÓN A	OPCIÓN B	OPCIÓN C	OPCIÓN D
MODULO DE FINURA TEORICO	3.03	3.09	2.93	3.02

Además, se procedió con el desarrollo de una curva granulométrica teórica para cada opción y considerando los límites definidos en la tabla 2.

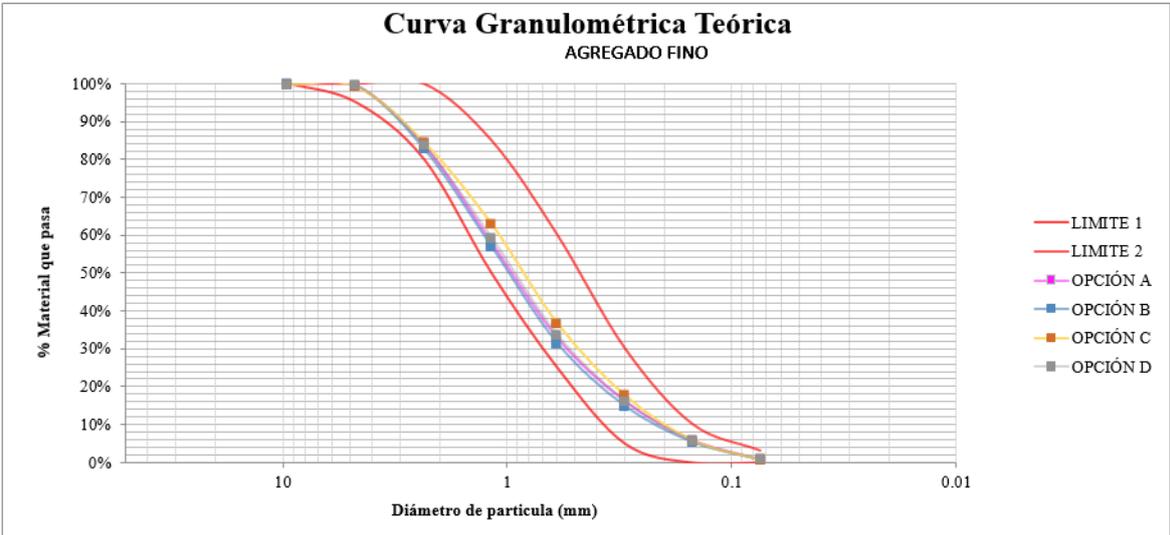


Gráfico 3. Distribución granulométrica teórica para las opciones de combinación consideradas.

Con estos resultados se puede observar que las diferentes opciones cumplen teóricamente con los estándares de calidad determinados por la norma NTC-174. Pero dando prioridad a los datos obtenidos para los modelos de finura teóricos, hay una opción que está muy cerca de los límites que puede alcanzar este valor, esta es la opción B; por tal motivo se decide despreciar y considerar solo las opciones A, C y D.

6.6. Justificación de las posibles combinaciones de arena que se adapten a las necesidades técnicas para la elaboración del concreto.

Para seleccionar una mezcla adecuada de concreto, hay que seguir tres pasos básicos. El primero es determinar la desviación estándar de la muestra. El segundo determinar la resistencia promedio a la compresión requerida. El tercer paso es la dosificación de la mezcla requerida para producir esa resistencia promedio, ya sea mediante mezclas de prueba o un adecuado registro de experiencias. La mezcla seleccionada debe producir una resistencia promedio considerablemente más alta que la resistencia especificada f'_c . El nivel de sobre resistencia requerido depende de la variabilidad de los resultados de los ensayos (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

De acuerdo a la norma NTC 174 del 2018, para que el agregado fino sea útil, debe estar gradado dentro de los límites propuestos en la Tabla 2 y el módulo de finura debe estar dentro del rango de 2,3 y 3,1.

Por tanto, las combinaciones de agregados obtenidas pueden ser consideradas para la producción del concreto, debido a que se cumplen con los requerimientos estipulados por la norma NTC-174; relacionados a la gradación y el módulo de finura. Las cantidades de este material requeridas en el proceso de producción del concreto se estiman a partir de las dosificaciones y el diseño de mezclas que varían de acuerdo a las solicitudes relacionadas a la resistencia, la manejabilidad, tiempos de fraguado, entre otros.

De acuerdo al desarrollo del trabajo llevado a cabo, es recomendable estar estrictamente sujetos a los procesos estipulados por la respectiva normativa, ya que se evita cometer alguna equivocación, y del mismo modo favorece con el desarrollo de un producto alta calidad.

6.7. Documentación y exposición de resultados.

Con respecto a los resultados obtenidos con el desarrollo de este trabajo, se puede contemplar la posibilidad de modificar las cantidades de los tipos de agregados finos durante la producción del concreto sin correr el riesgo de afectar los requerimientos estipulados por la empresa, además de que, con las opciones propuestas, se puede también analizar desde un punto de vista económico que tan factible puede resultar el descartar uno de estos agregados de la producción del concreto sin que se afecten los requisitos de calidad.

Por otra parte, con la elaboración de este trabajo, se puede inferir cuales son los agregados que necesitan más atención debido a las características relacionadas con la calidad, ya que puede diferir a la propuesta por los proveedores y los requerimientos en la producción del concreto.

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la disponibilidad de materiales y equipos en la empresa, se determina que la caracterización del agregado fino está sujeta a los ensayos propuestos por la

Norma Técnica Colombiana donde se definen la densidad, la absorción, la masa unitaria, el contenido de materia orgánica y el análisis granulométrico; y para determinar las características técnicas requeridas de estos agregados para la producción de concretos hidráulicos se debe seguir la especificaciones definidas en la norma NTC-174.

- Con la caracterización de los agregados finos, se identificó que el tipo de agregado que tiene las mejores características físicas y mecánicas requeridas para la producción del concreto es el proveniente de La Pintada 2, debido al cumplimiento de las especificaciones esenciales propuestas en la norma NTC-174, mientras que los demás agregados difieren con las especificaciones relacionadas al módulo de finura.
- Las diferentes combinaciones determinadas para el agregado fino cumplen con los requerimientos principales estipulados en la norma NTC-174, evidentes en el análisis de sus gradaciones teóricas y el análisis de las gradaciones de cada agregado considerado en la combinación, encontrándose dentro de los límites especificados.
- De acuerdo a las proporciones determinadas para las combinaciones aceptables, se aprecia que los agregados provenientes de La Pintada 2 y Amagá poseen un papel relevante para que la combinación se ajuste a los requerimientos.
- Diferentes factores externos intervinieron en las evaluaciones de las combinaciones propuestas, por lo que, el poder justificar su validez para su uso en la producción del concreto se hace de forma teórica, a partir del análisis de los datos obtenidos en la caracterización de los diferentes agregados finos, donde se surge la necesidad de descartar el uso del agregado proveniente de Bolombolo, el cual presenta resultados irregulares en varios ensayos
- Con el presente trabajo se logró un aporte significativo en los procesos de la empresa, ya que, a partir de éste, se determinaron algunos cambios que contribuyen con el cumplimiento de los estándares de calidad, y del mismo modo genera algunas opciones que pueden ser tenidas en cuenta para casos donde se presenten algunos inconvenientes relacionados con la procedencia del material.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía municipal de Aguadas, Caldas. (2018). Recuperado 10 de junio de 2021, de Vertiente del río Arma sitio web: <http://www.aguadas-caldas.gov.co/turismo/vertiente-del-rio-arma>

- AIS, A. C. de I. S. (2010). NCR10 - Título C: Concreto estructural. In Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10 (p. 590).
- Alcaldía de Venecia. Bolombolo. (2020). Recuperado 11 de marzo de 2021, de Alcaldía de Venecia website: <http://www.venecia-antioquia.gov.co/municipio/bolombolo>
- Grupo San Pio. (2011, 30 septiembre). Presentación Deposito San Pío Itagüí [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=GZ061-EgREQ>
- Gutierrez de Lopez, Libia. 2003. El Concreto y Otros Materiales Para La Construcción. 2nd ed.
- ICONTEC. Ministerio de desarrollo económico. (2001). Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. NTC -237. Norma Tecnica Colombiana.
- ICONTEC. Ministerio de desarrollo economico. 1995. Determinacion de La Masas Unitaria y Los Vacios Entre Particulas de Agregados. NTC-92.
- ICONTEC. Ministerio de desarrollo economico. 2007. Método de Ensayo Para El Análisis Por Tamizado de Los Agregados Finos y Gruesos. NTC-77.
- ICONTEC. Ministerio de desarrollo economico. 2013. Metodo de Ensayo Para Determinar Las Impurezas Organicas En Agregado Fino Para Concreto. NTC-127. Vol. 53.
- ICONTEC. Ministerio de desarrollo economico. 2018. Especificaciones de Los Agregados Para Concreto. NTC-174. Vol. 174.
- Kosmatka, Steven H. Kerkhoff William. et al. 2004. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Vol. Primera Ed.
- La Pintada. (2021). Recuperado 11 de marzo de 2021, de Comfenalco Antioquia website: <https://infolocal.comfenalcoantioquia.com/index.php/lapintada>
- Mi municipio. (2021). Recuperado 11 de marzo de 2021, de Alcaldía de Amagá website: <https://www.amaga-antioquia.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Sanchez de Guzmán, Diego. 2001. Tecnología Del Concreto y Del Mortero.
- Silva, O. J. (2020). Tipos De Agregados Y Su Influencia En El Diseño De Una Mezcla Del Concreto. Recuperado 27 de diciembre de 2020, de 360 en concreto. Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>
- Universidad Nacional. (1999). “Plan Básico de Ordenamiento Territorial Municipio de Venecia – 1999 Subsistema Físico – Biótico 1.”

