



**ANÁLISIS DEL DESPERDICIO DE AGREGADOS USADOS PARA LA PRODUCCIÓN  
DE CONCRETO EN OBRA, DESDE LA SALIDA DE CANTERA HASTA SU MEZCLA  
EN PLANTA**

Camilo Santamaría Restrepo

Informe final para optar al título de Ingeniero Civil

Asesora

Claudia Helena Muñoz hoyos, PhD en Ingeniería Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Pregrado

Medellín

2024

<b>Cita</b>	(Santamaría Restrepo, 2024)
<b>Referencia</b>	Santamaría Restrepo, C. (2024). <i>ANÁLISIS DEL DESPERDICIO DE AGREGADOS USADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO EN OBRA, DESDE LA SALIDA DE CANTERA HASTA SU MEZCLA EN PLANTA</i> [Informe de prácticas, semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

A mis padres, mis amigos y a todas aquellas personas que me han acompañado en mi proceso de formación no sólo académico, sino también personal.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis padres, porque siempre me han apoyado y ayudado para que cumpla mis sueños.

También a los amigos que hice en la universidad, pues con ellos he recorrido todo este camino de formación profesional, he sufrido, he reído y he aprendido, y finalmente estoy aquí, y sin ellos no hubiera sido tan maravillosa esta experiencia.

También a mis compañeros y entrenadores de la época en que practiqué lucha olímpica, pues fue esa época de mi vida la que me forjó el carácter de una persona capaz de esforzarse al máximo por lograr lo que quiere, y por eso la considero una etapa indispensable e insustituible de mi vida.

Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la Universidad de Antioquia, por tenderme la mano, por haberme ayudado tanto en momentos de necesidad, porque si no fuera porque estudié allá, jamás hubiera logrado estudiar una carrera profesional, por ayudarme en mi crecimiento como persona y como ingeniero, por haberme permitido conocer a tantas personas admirables y maravillosas, por haberme permitido habitar sus gratos espacios durante estos años, por haberme ayudado a llegar hasta donde estoy ahora.

## Tabla de Contenido

Resumen .....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1 Objetivos.....	12
1.1 Objetivo general .....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2 Marco teórico.....	13
2.1 Concreto .....	13
2.2 Contenido de humedad .....	13
2.3 Plantas dosificadoras Domat .....	14
2.4 Transporte de agregados a obra.....	15
2.5 Desperdicio de agregados.....	15
3 Metodología.....	17
3.1 Reconocimiento de los puntos críticos donde se genera el desperdicio de agregados. .....	17
3.2 Elaboración de método de cálculo del desperdicio .....	22
3.2.1 Método directo .....	22
3.2.2 Método indirecto .....	22
3.3 Levantamiento de información.....	26
3.3.1 Método de cubicación basado en celdas .....	26
3.3.2 Método de cubicación basado en volúmenes parciales.....	29
4 Resultados y discusión .....	30
5 Conclusiones.....	32
6 Recomendaciones .....	34

Referencias .....	35
-------------------	----

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Especificaciones de capacidad de la serie DMP.....	15
<b>Tabla 2</b> Valores de densidad de agregados para la obra Vitaly .....	23
<b>Tabla 3</b> Cantidad de agregados usados en las dosificaciones de concreto en la obra Vitaly .....	23
<b>Tabla 4</b> Método indirecto de cálculo de desperdicio de agregados en obra .....	24
<b>Tabla 5</b> Aplicación del método indirecto para el cálculo de desperdicio de agregado. ....	24
<b>Tabla 6</b> Resultados de desperdicio para la arena de concreto .....	30
<b>Tabla 7</b> Resultados de desperdicio para triturado 3/4" .....	31

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Chiqueros para agregados de concreto de la obra Vitaly.....	18
<b>Figura 2</b> Triturado contaminado con tierra al quedar por fuera del chiquero .....	19
<b>Figura 3</b> Minicargador.....	20
<b>Figura 4</b> Agregados desperdiciados en el transporte y depositación en tolva.....	20
<b>Figura 5</b> Espacio por el cual la dosificadora pasa arena al mezclador .....	21
<b>Figura 6</b> Agregados que caen al suelo en la planta durante la producción de concreto ....	21
<b>Figura 7</b> Esquema de división por celdas del chiquero .....	27
<b>Figura 8</b> Perfil de la superficie del agregado con separación de celdas. ....	28

## Nomenclaturas

- CI-n*** Concreto vaciado entre el día 1 y el día n.
- De*** Desperdicio de agregado en unidades de peso.
- De (%)*** Desperdicio de agregado, en porcentaje.
- Dec*** Desperdicio de agregado por volumen de concreto vaciado.
- Decp*** Desperdicio promedio de agregado por volumen de concreto vaciado.
- Do*** Cantidad de agregado (promedio) especificada en la dosificación del concreto utilizada, en unidades de peso/volumen (Tabla 3).
- n*** Número de días que tiene el periodo en que se realiza la estimación.
- PCn*** Peso consumido en el día n.
- Pfn*** Peso final en el día n.
- Pin*** Peso inicial en el día n.
- PLn*** Peso que ingresa en el día n.
- $\sigma$**  Desviación estándar del ***De (%)***.
- $\sigma_c$**  Desviación estándar del ***Dec***.

## Resumen

El desperdicio de agregados es un factor que siempre está presente en los procesos de producción de concreto y mortero de cualquier obra de construcción; estos son inevitables, sin embargo, sí pueden ser mitigados llevando un correcto control de los procesos de llegada, almacenamiento y consumo en obra, lo que ayuda a disminuir los sobrecostos que se generan en la pérdida de estos materiales. No obstante, se requiere de un trabajo laborioso que puede ser complicado de llevar debido al tiempo requerido. Este trabajo propone un método de cuantificación de los desperdicios de arena y triturado (grava), materiales usados en la producción de concreto en la planta de concreto de una obra localizada en el sector de San Lucas en la ciudad de Medellín, Colombia, a partir de los datos de llegada de los agregados a obra, su consumo, la cantidad almacenada, las dosificaciones de concreto usadas y el volumen producido, despreciando las variaciones del contenido de humedad de estos. Se concluyó que es necesario determinar un factor de corrección que añada las variaciones de humedad del agregado, además de encontrar un método de cubicación del material en el sitio de depósito del material con gran nivel de exactitud para poder obtener resultados aceptables que puedan ser usados para tomar decisiones en obra. Además, se identificaron los puntos o momentos críticos donde se genera desperdicio de agregado, mostrando que estos son el transporte a la tolva con el minicargador y el transporte de la tolva al mezclador.

*Palabras clave:* Agregados, triturado, arena, humedad, desperdicio, transporte, concreto, obra, control, procesos, cuantificación.

## **Abstract**

Waste material is a factor that is always present in the production processes of concrete and mortar in any construction site; these are inevitable; however, they can be mitigated by correctly controlling the processes of arrival, storage and consumption on site, which helps to reduce the cost overruns generated by the loss of these materials. Nevertheless, it requires laborious work that can be complicated to carry out due to the time required. This work proposes a method for quantifying the waste of sand and crushed stone (gravel), materials used in the production of concrete in the concrete plant of a construction site located in the San Lucas sector in the city of Medellin, Colombia, based on the data of the arrival of aggregates at the construction site, their consumption, the quantity stored, the dosages of concrete used and the volume produced, disregarding the variations in their moisture content. It was concluded that it is necessary to determine a correction factor that adds the aggregate moisture variations, as well as to find a method of cubing the material in the pits with a high level of accuracy in order to obtain acceptable results that can be used to make decisions on site. In addition, the critical points or moments where aggregate waste is generated were identified, showing that these are the transport to the hopper with the skid steer loader and the transport from the hopper to the mixer.

*Keywords:* Aggregates, gravel, sand, moisture, waste, transport, concrete, construction site, control, processes, quantification.

## Introducción

El desperdicio de una parte de los materiales es inevitable en toda obra de construcción, pues siempre se genera una pérdida ya sea en el transporte, disposición o manipulación.

Cuando en obra se pierde una pequeña cantidad de material en un proceso, el sobrecosto que este genera puede considerarse prescindible, sin embargo, si ese mismo proceso debe realizarse repetidas veces, el desperdicio total puede llegar a ser considerable, generando un sobrecosto que debe ser tenido en cuenta.

Arquitectura & Concreto es una compañía constructora que se ha desarrollado en proyectos de vivienda, comercio, servicios e infraestructura; tiene 34 años de experiencia y está ubicada en 3 departamentos del país (Arquitectura y concreto, s. f.).

Su proyecto en construcción, Vitaly, es un proyecto de módulos habitacionales pensado para personas de la tercera edad, compuesto por 2 torres, cada una con 12 plantas y la cubierta, además de una estructura a parte para la piscina; a esto se suman zonas verdes y diferentes servicios. Este proyecto se encuentra en el sector de San Lucas, Medellín, en la Calle 16AA Sur 25-55.

En esta obra como escenario de prácticas se realizaron diferentes funciones, entre las cuales está la revisión de planos, pedido de aceros de refuerzo, supervisión de procesos constructivos, seguimiento al control de resistencias de concretos, control de la producción de concreto y de los agregados entrantes y usados en dicha producción.

La obra cuenta con una planta de concreto en operación desde el 22 de febrero del 2024, sin embargo, no se está llevando ni se tiene un esquema para llevar un control de los desperdicios generados en el transporte y consumo de los agregados, por lo que no se tiene un estimado del sobrecosto que estos pueden causar. Teniendo en cuenta que la planta entró en operación cuando se estaba empezando la fase de estructura de la primera torre, se necesita producir en obra todo el volumen de concreto necesario para construir la primera torre desde el primer nivel, además de la segunda torre y otros espacios, por lo que se espera que la cantidad de desperdicios ascienda considerablemente.

Así pues, el objeto de este proyecto de prácticas académicas fue proponer un método de cuantificación aproximado de los desperdicios generados en la producción de concreto y ponerlo a prueba, con el fin de juzgar su viabilidad aplicativa en obra.

# 1 Objetivos

## 1.1 Objetivo general

Cuantificar el desperdicio de material agregado usado en la producción de concreto en planta, desde su llegada a obra hasta el momento de mezcla.

## 1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar los volúmenes de grava y arena perdidos en el momento de su descarga en la respectiva zona de acopio, en su transporte hasta la dosificadora y en su descarga en el mezclador.
- Relacionar la cantidad de grava y arena perdidos con la cantidad de concreto producido.
- Determinar la zona o momento crítico donde se genera desperdicio.
- Calcular el porcentaje de desperdicio de los agregados usados en la producción de concreto.
- Determinar la viabilidad del método de cálculo de desperdicio propuesto.

## **2 Marco teórico**

### **2.1 Concreto**

La NSR-10 define el concreto como una mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. Según De Brito Prado Vieira y De Figueiredo (2016), el volumen de desperdicio generado actualmente en plantas de concreto es cada vez más grande y está ligado a consecuencias ambientales y económicas importantes.

### **2.2 Contenido de humedad**

El contenido de humedad en el agregado hace referencia a la cantidad de agua que este contiene, y es necesario tenerlo en cuenta ya que, dependiendo de su valor, se puede requerir un ajuste en la cantidad de agua usada en la dosificación para mantener una adecuada relación agua-cemento, y lograr las propiedades deseadas de la mezcla (Lee & Estrada, 2020). En la obra donde se realizó este proyecto, los ajustes por humedad de los agregados están dados para humedades de entre 1% y 2% para el triturado, y entre 3% y 18% para la arena, lo que indica que la arena es mucho más susceptible a los cambios por humedad.

El contenido de humedad es variable en el tiempo y de acuerdo con las condiciones climáticas, aumentando el volumen de material al ser expuesto al agua y disminuyéndolo en momentos de alta temperatura del ambiente. Si bien se puede tapar el material en obra para evitar el aumento de la humedad debido a la lluvia, controlar la pérdida de no es viable en la práctica, por lo que constantemente se realizan pruebas para calcular su valor y ajustar la cantidad de agua necesaria en las mezclas.

En una zona como Medellín, donde el tiempo atmosférico puede ser tan cambiante en diferentes épocas del año, la variación de la humedad es muy poco constante, cambiando en proporciones diferentes en un mismo periodo de tiempo, y complicando su seguimiento.

## 2.3 Plantas dosificadoras Domat

Domat SAS es una empresa colombiana que se especializa en la solución, fabricación y desarrollos tecnológicos en equipos para la producción de concreto (Domat SAS, 2023). Entre sus productos se encuentran las plantas mezcladoras de concreto, capaces de dosificar y mezclar en obra a diferentes capacidades.

La serie DMP de plantas mezcladoras Domat se compone de equipos móviles con gran capacidad de producción de concreto, variando según el modelo escogido (Domat SAS, 2022), y cuenta con los siguientes componentes:

- Sistema de pasaje de agregados
- Sensor de flujo (cuenta litros para agua)
- Báscula independiente de cemento
- Descarga de cemento por gravedad
- Altura de descarga a camión mixer
- Tornillo sin fin para alimentación de cemento
- Bomba para alimentación de agua, con tubería de succión y descarga
- Sistema de control automático local D200 (cabina de operación) con consola para operación manual.
- 

El modelo varía según la cantidad de  $m^3/h$  que puede producir, además del tipo de mezclador incorporado. Los mezcladores pueden ser tipo turbo o planetario, los cuales también permiten diferentes capacidades. Además, todos los modelos cuentan con entre 2 y 4 tolvas para almacenar diferentes tipos de agregados (Domat SAS, 2022).

La serie DMP que implementa el mezclador turbo se divide de la siguiente manera:

**Tabla 1.**  
*Especificaciones de capacidad de la serie DMP*

DMP	Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	Capacidad mezclador (m <sup>3</sup> )	Capacidad por tolva (m <sup>3</sup> )
15	15	0.4	1.4
20	20	0.5	1.4
30	30	0.75	2.8
40	40	1.0	2.8

*Nota:* Adaptado de Domat SAS (2015) y Domat SAS (2022).

## **2.4 Transporte de agregados a obra**

Según el Sistema Integrado de Consultas de Clasificaciones y Nomenclaturas (s. f.), existen diversos tipos de volquetas, clasificadas según el volumen, número de ejes y uso, siendo las más utilizadas las de 7 m<sup>3</sup>, que poseen 2 ejes. Las más conocidas en el mundo de la construcción como “dobletroque”, permiten 15 m<sup>3</sup>, que están equipadas con 3 ejes. Estas son usadas para transportar los diferentes tipos de suelo hasta y desde las obras (traer agregados, material de lleno, evacuar suelo excavado, etc.).

## **2.5 Desperdicio de agregados**

Se han encontrado investigaciones relacionadas al desperdicio de concreto, como en el caso de Martins et al. (2022), quienes investigaron sobre el manejo del residuo de concreto en plantas de dosificación de concreto en Belo Horizonte, Brasil, y descubrieron 2 fuentes principales que generan el desperdicio: el sobrante de concreto debido a la pérdida de exceso de producción excesiva, caso en que el camión mixer retorna a la planta sin ser descargado completamente; la segunda fuente es el concreto que queda adherido a las paredes internas del mixer, caso en el que todo el concreto es lavado.

Jibon et al. (2023) Utilizaron técnicas de machine learning para predecir la pérdida de agregados generada en la producción de asfalto Otta Seal, usado en vías de bajo volumen vehicular, teniendo en cuenta el tipo de aglutinante y de agregado, la gradación, las tasas de aplicación de material, entre otros factores.

Sin embargo, se ha visto una tendencia mayor a la investigación de la reutilización sostenible de los desperdicios y muy poca a la cuantificación de estos, por lo que se considera el objetivo de esta propuesta como pertinente.

### **3 Metodología**

Para el desarrollo de la propuesta se plantearon las siguientes actividades:

- Reconocimiento de los puntos o momentos críticos donde se genera el desperdicio de agregados.
- Elaboración de formato para recolección de información.
- Acompañamiento a los procesos de recibimiento de agregados en la obra, recarga de dosificadora DMP 15 y de producción de concreto.
- Levantamiento de información en los puntos de acompañamiento.
- Procesamiento de información recolectada.
- Formulación de resultados, actualizados mientras aumenta la información recolectada.
- Recibimiento de retroalimentación y recomendaciones por parte de los asesores.
- Formulación de conclusiones.
- Recomendaciones relacionadas a las acciones a realizar de acuerdo con los resultados, en caso de ser necesario.

Todo este proceso se recoge en los siguientes ítems de este trabajo.

#### **3.1 Reconocimiento de los puntos críticos donde se genera el desperdicio de agregados.**

Para la identificación de los puntos críticos se comenzó por identificar el recorrido que siguen los agregados desde la llegada a obra hasta su consumo. El recorrido se enlista a continuación:

1. El material llega a la obra en volquetas sencillas o doble troque. La cantera especifica una cantidad entregada en toneladas, con una precisión de 0.01Tn, es decir, 10kg. Los agregados usados en la obra para la producción de concreto son grava (llamada en la obra como triturado) de  $\frac{3}{4}$ ", y arena de concreto. La cantera envía a obra el agregado con una determinada cantidad de humedad, lo que implica que del peso de material que se compra, una parte es agua, sin

embargo, al disminuir la humedad, el peso que inicialmente traía la volqueta también se reduce, y esto se refleja en obra al cubicar la cantidad de material almacenado; una parte del volumen se pierde debido a la pérdida por humedad.

2. La volqueta deposita el agregado en el lugar estipulado por la obra para ello. La obra cuenta con un sitio llamado chiquero, en el que se depositan los agregados de manera separada; estos están cubiertos por un invernadero, que los protege de las lluvias y evita que la humedad del material aumente drásticamente.

### **Figura 1**

*Chiqueros para agregados de concreto de la obra Vitaly*



Es importante tener espacio suficiente en el chiquero a la hora de depositar un cargamento de agregado, pues de lo contrario es posible que parte del material quede por fuera y se contamine con tierra, como muestra la **Figura 2**, y ya no pueda utilizarse. Ambos chiqueros tienen una medida aproximada de 8m de largo, 4m de ancho y 1.95m de alto.

## **Figura 2**

*Triturado contaminado con tierra al quedar por fuera del chiquero*



3. El minicargador (**Figura 3**) recoge material con su pala, lo transporta hasta la tolva y lo deposita, dejando caer una parte en el proceso. La mayor parte del desperdicio generado en este paso se da en la depositación, dejando caer material alrededor de la tolva, sin embargo, también se generan desperdicios al sacar el material del chiquero, pudiendo generar que una parte se contamine con tierra, y al transportar, si se pasa sobre un bache o una zona con pendiente, momentos en los que aumenta la posibilidad de que material caiga de la pala. En este proceso, la habilidad del operador de minicargador juega un papel fundamental. La situación expuesta se observa en la **Figura 4**.

**Figura 3**  
*Minicargador*



**Figura 4**  
*Agregados desperdiciados en el transporte y deposición en tolva*



4. La dosificadora pasa el material al mezclador, dejando caer una parte en el proceso (**Figura 5** y **Figura 6**). Según las condiciones, una parte de la arena puede ser recuperable, pero si se combina con triturado, se moja o se contamina con tierra, el proceso para recuperarla se hace más complicado y se opta por tirarla. En este caso el mantener limpia toda la zona de la planta de concreto se vuelve muy importante.
5. Adicional, debe tenerse en cuenta que, dada la situación, se puede tomar material de los chiqueros y usarse en un proceso diferente al de la producción de concreto. En obra se observa que hay más ocasiones en las que se saca arena para actividades diferentes que ocasiones en las que se saca triturado.

**Figura 5**

*Espacio por el cual la dosificadora pasa arena al mezclador*



**Figura 6**

*Agregados que caen al suelo en la planta durante la producción de concreto*



### **3.2 Elaboración de método de cálculo del desperdicio**

Para este proceso se requirió idear la metodología más adecuada para calcular los desperdicios generados en toda la producción, para esto fue necesario comprender de manera detallada el proceso y el tipo de información de la que se dispone. Escoger el método del cálculo es imperativo para poder escoger el tipo y lugar donde se deben recolectar los datos en campo, es decir, hacer el levantamiento de datos a procesar.

Primeramente, hay 2 métodos para calcular el desperdicio:

#### ***3.2.1 Método directo***

Se refiere a recoger todo el desperdicio posible que se va cayendo y cuantificarlo directamente. Este método es poco eficaz debido a la dificultad de recolectar todo lo que cae, además, es probable que el material recogido esté contaminado o combinado, por lo que se tendría que calcular un desperdicio total de agregados, sin poder separarlo en triturado y arena.

#### ***3.2.2 Método indirecto***

Este método se da a partir de la información que la planta de concretos provee, pues esta lleva un historial de la cantidad teórica de material que debía usarse y de la realmente usada, clasificada también por fechas. Esto permite conocer la cantidad real de agregados usada en la producción de concreto en una determinada cantidad de tiempo.

Este consumo se combina con la cantidad de material que llega a obra y la cantidad volumétrica medida en los chiqueros.

Es de vital importancia tener claridad de las unidades usadas en los cálculos, pues la planta da su historial de producción en kg, el material que llega a obra está en Tn y el volumen medido en los chiqueros se da generalmente en m<sup>3</sup>, este último valor se convierte a unidades de peso mediante la densidad del agregado, que es dada por la cantera que provee el material:

**Tabla 2***Valores de densidad de agregados para la obra Vitaly*

<b>Valores de densidad de agregados para concretos dados por la cantera San Javier para la obra Vitaly, en Tn/m<sup>3</sup></b>	
Arena para concreto	Triturado ¾"
1.71	1.46

Además, es necesario conocer la cantidad de agregados usados en la dosificación del concreto usado; a continuación, se muestran las resistencias de concreto más usadas en la obra:

Así, se puede estimar el desperdicio generado con la siguiente tabla:

**Tabla 3***Cantidad de agregados usados en las dosificaciones de concreto en la obra Vitaly*

<b>Resistencia (PSI)</b>	<b>Arena para concreto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Triturado ¾" (kg/m<sup>3</sup>)</b>
3000	1001	852
4000	936	864
5000	909	928
6000	837	944
<b>Promedio</b>	920.75	897

Con esto, ya se tiene la información necesaria para aplicar el método, mostrado en la **Tabla**

**4.**

**Tabla 4**

Método indirecto de cálculo de desperdicio de agregados en obra

Cantidades de agregado (kg)						Do (dado)			
Calculadas				Medidas en chiquero		De	Concreto vaciado	Dec	De (%)
Al inicio del día	Llega	Se consume	Al final del día	Al inicio del día	Al final del día				
$Pi1$ (Medido en chiquero)	$PL1$	$PC1$	$Pi1+PL1-PC1 = Pfi1$ $= Pi2$	$Pi1$ (Medido en chiquero)		0			
$Pi2$	$PL2$	$PC2$	$Pi2+PL2-PC2 = Pfi2$ $= Pi3$						
.									
.									
.									
$Pin$	$PLn$	$PCn$	$Pin+PLn-PCn=Pfn$ (Calculado)	$Pfn$ (Medido en chiquero)		$Pfn$ medido - $Pfn$ Calculado	$CI-n$ (dado)	$De/CI-n$	$Dec/Do$

La aplicación del método se observa en la **Tabla 5**.

**Tabla 5**

Aplicación del método indirecto para el cálculo de desperdicio de agregado.

Fecha	Cantidades de arena (kg)						Do (kg/m3) 920.75			
	Al inicio del día	Llega	Se gasta	Al final del día	Medido en chiquero mañana	Medido en chiquero tarde	De	Concreto vaciado (m3)	Dec (kg/m3 vaciado)	De (%)
29-abr	27513.79	74020	5620	95913.79	27513.79		0			
30-abr	95913.79	0	5540	90373.79						
2-may	90373.79	0	3398	86975.79						
3-may	86975.79	34410	104700	16685.79						
6-may	16685.79	36390	15620	37455.79						
7-may	37455.79	37630	11224	63861.79						
8-may	63861.79	0	6466	57395.79						
9-may	57395.79	64920	88590	33725.79						
10-may	33725.79	36470	14352	55843.79		55771.65	-72.14	260.13	-0.28	-0.03%
14-may	55771.65	72320	8464	119627.65	55771.65					

La **Tabla 5** calcula el desperdicio de arena entre abril 29 y mayo 10 del año 2024, es decir, en un periodo de 9 días. El cálculo muestra que, de la cantidad total de arena sacada del chiquero durante ese periodo, 72.14 kg no llegaron a la planta para usarse en la producción de concreto, es

decir, por cada metro cúbico vaciado en ese periodo, se perdieron 0.28kg de arena, lo que representa un desperdicio del 0.03%.

Debe resaltarse la importancia de los signos en el resultado: valores negativos en la columna de **De** indican que falta material en el chiquero de acuerdo con lo consumido, es decir, desperdicios; por el contrario, valores positivos indican que hay más material del que debería, lo que puede indicar un error en la cubicación o que no se registró todo el material que llegó a la obra. Por esto, valores de positivos de **De** no sirven en la estimación, y no son aceptables.

Otro aspecto para resaltar es que no se añaden los fines de semana o festivos (a menos que se labore uno de esos días), si hay un día laboral en el que no se produjo concreto ni llegó material, se opta por dejar el registro colocando la fila correspondiente y el valor de cero en las casillas de entrada y salida de material.

Nótese que el 14 de mayo comienza un nuevo periodo de estimación, y este comienza con la misma cantidad **medida en chiquero** con la que cerró el ciclo anterior (casillas azules de la **Tabla 5**), es decir, con la cantidad real que hay en el chiquero, sin continuar la fórmula de la fecha anterior, esto con el fin de no arrastrar el desperdicio del periodo anterior, sino calcular un desperdicio independiente para cada periodo, sin que afecte uno con otro. Que el desperdicio calculado sea independiente para cada periodo, combinado con la fórmula propuesta, hacen que no sea necesario que los periodos sean uniformes, se considera que es más acertado tratar de realizar el proceso de cubicación cada cierta cantidad constante de concreto producido, no obstante, esto puede resultar complicado durante la dinámica de la obra.

### **3.2.2.1 Suposiciones del método indirecto**

Este método desprecia las variaciones por humedad, lo que permite asumir que la cantidad de material almacenada al final del día 1 es la misma que al inicio del día 2, es decir, que mientras no se produzca concreto, el volumen de agregado en el chiquero permanece constante; esto debido a la dificultad de hacer el seguimiento a la pérdida por humedad, mencionada en la sección 2.2 Contenido de humedad.

### 3.3 Levantamiento de información

Del método de cálculo escogido se define que se debe realizar una medición manual de los agregados almacenados en los chiqueros cada determinada cantidad de tiempo, por lo que el siguiente paso es definir el método de cuantificación de la cantidad de agregado que sea más preciso de acuerdo con las necesidades de este proyecto, esto hace referencia a la exactitud de los valores medidos, puesto que se están midiendo desperdicios, y se requieren mediciones lo más aproximadas a la realidad posible, esto implica que, en este caso, diferencias de incluso  $1\text{m}^3$ , es decir, de 1.71Tn para la arena y 1.46Tn para el triturado, son consideradas muy altas, ya que en un proceso de medición esa diferencia aumentaría o disminuiría el desperdicio de la arena en 1.71Tn; si hipotéticamente el desperdicio en realidad fue de 100kg, la medición puede incrementar el desperdicio a 1810kg, o indicar que hay 1700kg más en obra de los que deberían.

Esto también implica que esta inexactitud puede ser más aceptable dependiendo de la cantidad de agregados consumidos en el día, pues una diferencia de  $1\text{m}^3$  tendrá menos peso en el desperdicio total si se consumieron 80Tn de material que si se consumieron 5Tn. De manera similar sucede si se expande el periodo de tiempo entre el que se cuantifica el volumen en los chiqueros, es decir, si el tiempo entre  $P_{i1}$  y  $P_{in}$  es mayor, pues los desperdicios deben ser más grandes entre más pasa el tiempo, ya que el consumo también aumenta.

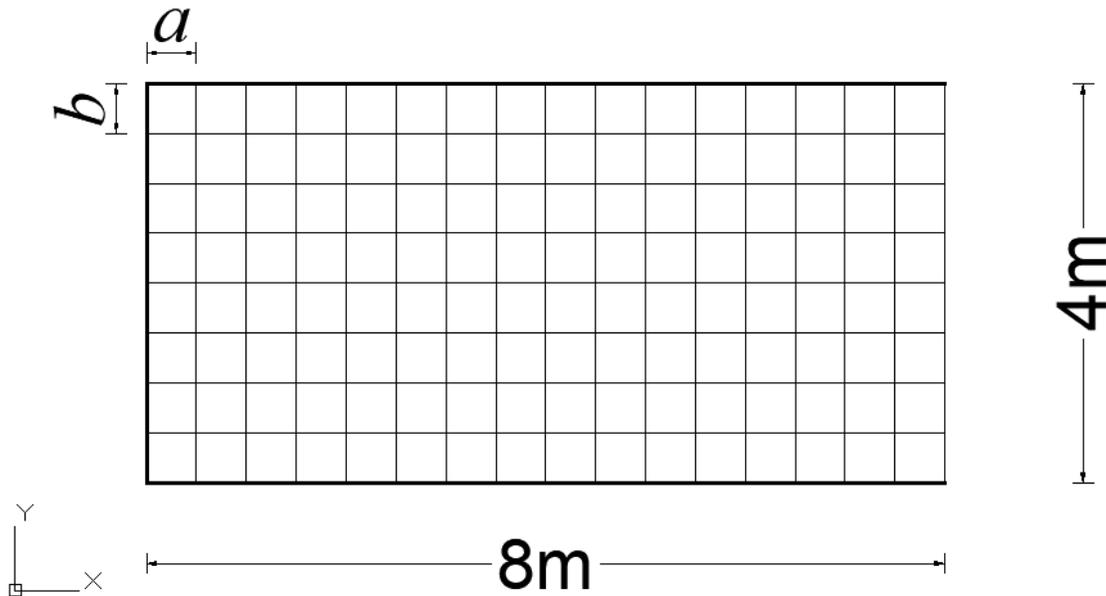
Buscando aumentar la exactitud en la cubicación de los agregados en el chiquero, se idearon los 2 sistemas mostrados a continuación, los cuales fueron contrastados para elegir únicamente uno para la realización de este proyecto.

#### 3.3.1 Método de cubicación basado en celdas

Este sistema propone dividir la vista en planta del chiquero en celdas iguales de área conocida  $a*b$ , como muestra la **Figura 7**.

**Figura 7**

*Esquema de división por celdas del chiquero*



En este método, se mide en campo la altura en el centro de cada celda y se multiplica su área, para obtener un volumen de celda. Así, el volumen total del agregado en el chiquero es la suma total del volumen de cada celda.

$$V_m = \sum_{i=1}^m V_{ci}$$

*Ecuación 1. Volumen total medido en el chiquero con el método basado en celdas.*

Donde  $V_m$  es el volumen total medido y  $V_{ci}$  es el volumen de cada una de las  $m$  celdas.

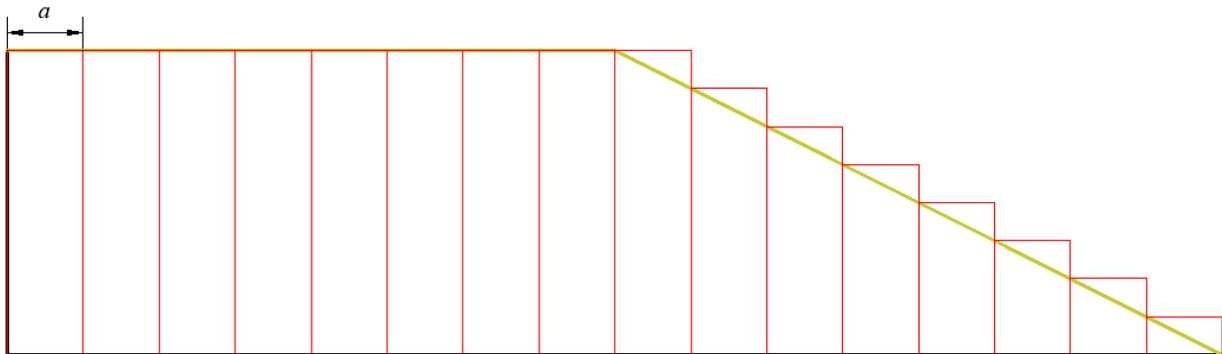
La utilidad de este método está condicionada por 2 factores principales:

- 1. El tamaño de celda escogido:** Entre menor sea el tamaño de cada celda, más exacto es el método, pues se disminuye la cantidad de espacios vacíos incluidos en el cálculo, pero el tiempo necesario para la toma de datos también incrementa, pues disminuir a la mitad uno de los lados de la celda aumenta al doble el número de alturas que deben tomarse, y disminuir a la mitad ambos lados de la celda implica tener que tomar 4 veces más alturas, lo que afecta considerablemente la eficiencia del método.

2. **La forma de la superficie del agregado almacenado:** Este método se adapta mejor a superficies horizontales en el almacenamiento del agregado.

**Figura 8**

*Perfil de la superficie del agregado con separación de celdas.*



La **Figura 8** muestra que, para perfiles horizontales, las celdas se adaptan de manera adecuada, pero en zonas con pendiente, el modelo pierde exactitud, tomando espacios vacíos, es decir, aumentando el volumen real medido. Este efecto puede minimizarse disminuyendo el tamaño de celda, pero se genera el conflicto de eficiencia del método, mencionado anteriormente.

**3.3.1.1 Aplicación y resultados del método de cubicación basado en celdas**

Inicialmente, se decidió usar una cuadrícula de celdas de 50cm\*50cm, considerando que no representaban un tamaño demasiado grande como para perder demasiada fidelidad de medición, ni demasiado pequeña como para generar una cantidad de alturas a medir muy grande.

Se realizó una medición manual en campo, marcando directamente las celdas y midiendo con un flexómetro la altura de cada celda.

Los resultados obtenidos con este tamaño de celda fueron considerados satisfactorios, pues se generaban desperdicios con valores que podrían verse como racionales, sin embargo, se necesitó de un tiempo de hasta 2 horas para realizar la cubicación en cada chiquero (siendo el trabajo realizado por una sola persona). Esta cantidad de tiempo se hace inviable en obra a menos que se

contrate a una persona o a un grupo de personas específicamente para realizar este trabajo, por lo que se decidió aumentar el tamaño de celda a 1m\*1m.

Los resultados obtenidos con este tamaño de celda no fueron aceptables, pues se observó que los valores de cubicación perdían exactitud.

De acuerdo con esto, el método de cubicación mediante celdas sólo puede ser aplicado si se dispone de una persona o cuadrilla específicamente para realizar el trabajo de cubicación, pues no se considera viable interrumpir las demás tareas empleados con otras actividades encargadas para medir los chiqueros, incluso si un grupo más grande de personas logra hacer la medición en un tiempo más corto.

Por las razones mencionadas, este método fue finalmente descartado.

### ***3.3.2 Método de cubicación basado en volúmenes parciales***

Este método separa el volumen total del agregado en el chiquero en diferentes volúmenes más sencillos de medir, partiéndolo en cubos, pirámides, prismas rectangulares y triangulares, lo que lo hace un método inherentemente visual, y la cantidad, forma y dimensiones de las figuras geométricas puede variar entre cada persona; no obstante, se consideró un método muy útil ya que no presenta el problema de superficie del agregado mostrado en la **Figura 8**, y la cantidad de tiempo necesario para la cubicación disminuye hasta necesitar 20 minutos por chiquero, en comparación con el primer método. Las desventajas identificadas en este método son las siguientes:

- 1. Subjetividad del medidor:** La forma de las figuras identificadas por la persona que realiza la medición pueden afectar el resultado de la cubicación, pues cada figura separada termina siendo una aproximación, y se puede terminar sobreestimando o subestimando el valor real de cada volumen parcial, además, las dimensiones dadas a cada figura también terminan siendo una aproximación subjetiva, y donde un medidor puede aproximar una dimensión a 1.50m para una figura, otro puede aproximar a 1.60m, por poner un ejemplo.
- 2. Complejidad de la superficie del agregado:** Superficies muy irregulares del agregado pueden complicar el proceso de separación en figuras conocidas, lo que afecta la aplicabilidad del método.

Las ventajas de eficiencia de este método lo hicieron el escogido para realizar la cubicación.

## 4 Resultados y discusión

Lograron calcularse 6 datos de desperdicio para cada agregado, entre el 12 de abril y el 31 de mayo de 2024; la cubicación inicial del periodo que finalizó el 12 abril (primer *De* calculado) se realizó el 3 de abril. Mediante discusión en obra, se toma un *De* (%) de -5% como referencia de un valor aceptable. Los resultados se muestran a continuación:

**Tabla 6**

*Resultados de desperdicio para la arena de concreto*

Desperdicio de la arena para concreto				
Fecha	<i>De</i> (kg)	Concreto vaciado (m3)	<i>Dec</i> (kg/m3 vaciado)	<i>De</i> (%)
12-abr	23746.93	193.10	122.98	13.36%
19-abr	-6981.53	52.98	-131.79	-14.31%
26-abr	-13952.61	122.30	-114.09	-12.39%
10-may	-72.14	260.13	-0.28	-0.03%
24-may	9057.27	375.62	24.11	2.62%
31-may	-32138.72	209.99	-153.05	-16.62%
<i>Decp; Dep</i>			-42.02	-4.56%
$\sigma$ ; $\sigma$			108.55	11.79%

Si bien el *Dep* para la arena es menor al 5%, lo que puede considerarse bajo,  $\sigma$  es más del doble de grande, lo que no sólo genera un rango demasiado amplio, sino que indica la posibilidad de obtener valores de *De* (%) positivos, lo cual no es aceptable, como se explicó en la sección 3.2, más atrás.

Analizando cada periodo separado, la única fecha que da un resultado satisfactorio es la del 10 de mayo, en cuyo periodo se generó un desperdicio muy bajo, más teniendo en cuenta que este fue el segundo periodo en que más se produjo concreto. El 12 de abril y el 24 de mayo son críticos, pues sus resultados son los que muestran desperdicios negativos. Si bien el resto de periodos arrojan valores negativos de desperdicio, es decir, valores que pueden tangibles en la realidad, estos indican más de 100kg de agregado perdidos por cada metro cúbico vaciado, lo que se considera demasiado alto, ya que representa más de 9 Tn de arena perdida en 90 m<sup>3</sup> de losa de concreto vaciado, que es un valor promedio para las losas de la obra Vitaly, es decir, más de la mitad de la arena que puede traer una volqueta doble troque en un solo día que dura el vaciado.

**Tabla 7***Resultados de desperdicio para triturado 3/4"*

<b>Desperdicio del triturado 3/4"</b>				
<b>Fecha</b>	<b>De (kg)</b>	<b>Concreto vaciado (m3)</b>	<b>Dec (kg/m3 vaciado)</b>	<b>De (%)</b>
12-abr	5086.97	193.10	26.34	2.94%
19-abr	759.32	52.98	14.33	1.60%
26-abr	5935.31	122.30	48.53	5.41%
10-may	-5033.20	260.13	-19.35	-2.16%
24-may	-9621.20	375.62	-25.61	-2.86%
31-may	574.00	209.99	2.73	0.30%
<b>Decp; Dep</b>			7.83	0.87%
<b><math>\sigma</math>; <math>\sigma</math></b>			28.02	3.12%

Si bien para el triturado  $\sigma$  es más de tres veces superior a *Dep*, su rango es considerablemente más pequeño, lo que indica que, incluso con la inexactitud de cubicación que puede presentarse en el método, el desperdicio de triturado es menor que el de la arena. Aún así, también se presenta la posibilidad de obtener valores de desperdicio positivos.

Los valores de *De (%)* para los periodos del 10 y 24 de mayo son aceptables tanto porque son valores reales como porque son desperdicios muy bajos, ideales en el proceso de la obra; para el resto de los periodos, aunque los resultados no están tan alejados del 0% como en el caso de la arena, el que sean positivos no permite que sean aceptables.

Esto resalta la importancia de un método de cubicación preciso, pues en caso de presentarse desperdicios muy pequeños en obra, la exactitud en la cubicación puede hacer la diferencia entre un *De (%)* por debajo o por encima del 0%, o sea, entre un resultado deseado y un resultado que no permite sacar una conclusión, como se considera que sucedió en el caso del triturado. Los resultados de la arena también tuvieron una variación debido a este problema.

Sumado a la exactitud del método de cubicación, los resultados también debieron verse afectados al despreciar los cambios de volumen debidos a la humedad, especialmente la arena, que es más susceptible, como se explicó en la sección 2.2 Contenido de humedad, lo que explicaría los altos desperdicios y la alta desviación estándar.

## 5 Conclusiones

El momento en donde menos se genera desperdicio es en el que la volqueta entra a obra y deposita el agregado en el chiquero, y los momentos críticos se dan en el transporte del material a la tolva con el minicargador y cuando la tolva lo echa en el mezclador durante el proceso de producción.

El método de cubicación basado en celdas podría dar resultados de cubicación satisfactorios siempre y cuando no se use un tamaño de celda menor a  $0.5*0.5\text{m}$ , pero para esto sería necesario tener a un grupo de trabajo con esa actividad asignada, la cual tendría que ser pagada, por lo que las limitaciones de este método también están dadas por el presupuesto y disponibilidad de mano de obra con la que se cuente. Se considera que un grupo de hasta 6 personas, teniendo 3 en cada chiquero, sería el ideal para reducir los tiempos de toma de datos de manera que el método sea viable.

El método de cubicación basado en volúmenes parciales no fue lo suficientemente exacto como para obtener resultados satisfactorios, por lo que se considera que debe descartarse.

Si bien los resultados del cálculo de desperdicio no son aceptables, debido a que no permitieron obtener un valor preciso que permita describir la realidad del desperdicio de la obra, estos sí entran en los posibles resultados que se consideraron, ya que se tenía en cuenta que estos podían verse influenciados por la variable despreciada y por la inexactitud en la cubicación, pues se notó que, por pequeña que fuera, podía afectar los resultados.

De todas maneras, se pudo observar un plano general que muestra que el desperdicio de arena es mayor que el del triturado.

Se necesita encontrar un factor de corrección por variación de la humedad que pueda añadirse al método de cálculo propuesto, sin embargo, esto representa todo un trabajo de investigación, pues se deben tener en cuenta variables como la zona donde se realiza el proyecto, su tiempo atmosférico, la temporada y el tipo de agregado.

El proceso de práctica realizado en la obra permitió observar y comprender y apropiarse como ingeniero de las situaciones y retos enfrentados en el proceso constructivo que no logran observarse en los planos, partiendo de estos y tomando decisiones oportunas a fin de hacer edificaciones que cumplan con todos los requerimientos estructurales, arquitectónicos y de

servicio, a la vez que se cumple con los tiempos estipulados en la programación, manteniéndose en el margen del presupuesto.

## 6 Recomendaciones

Se recomienda llevar un cuidadoso registro de los agregados que llegan a obra y los consumidos, pues estos son la materia prima para el cálculo, y tan sólo una volqueta que no quede registrada en las llegadas o un error en el material consumido puede arruinar los resultados.

Es imperante encontrar un método de cubicación de material agregado en obra que ofrezca una exactitud mayor a la del método usado, a la vez que optimice el tiempo de toma de datos, pues en obra este es un factor primordial. Se recomienda investigar sobre el apoyo de herramientas tecnológicas que permitan realizar tomas de datos más precisas y rápidas, aunque tendría que evaluarse su costo.

También es necesario tener un adecuado mantenimiento de la planta de concreto, a fin de disminuir los desperdicios generados durante la producción y que la planta misma lleve de manera correcta los registros de consumo.

Se recomienda llevar registro de los agregados sacados del chiquero para actividades diferentes a las de producción de concreto, ya que, si son usados en una actividad diferente, no son realmente desperdicio, y se podrían añadir a la columna de material consumido de la **Tabla 4**, haciendo más exactos los resultados.

Es importante contar con un operador de minicargador capacitado y con experiencia, pues esto disminuye los desperdicios durante el transporte y llenado de la tolva.

Un trabajo de investigación posterior es el de encontrar un factor de corrección por variaciones en la humedad que pueda añadirse al método de cálculo propuesto.

## Referencias

- Arquitectura y concreto. (s. f.). Conoce un poco más sobre nosotros | Arquitectura y Concreto. <https://arquitecturayconcreto.com/nosotros/#conocenos>.
- De Brito Prado Vieira, L., & De Figueiredo, A. D. (2016). Evaluation of concrete recycling system efficiency for ready-mix concrete plants. *Waste Management*, 56, 337-351. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.015>.
- Domat SAS (2015). Manual de Operación y Mantenimiento Plantas Para Producción de Concreto. [www.domatla.com](http://www.domatla.com).
- Domat SAS (2022, 19 julio). SERIE DMP | Plantas de concreto, mezcladoras y dosificadoras de concreto. <https://domatlda.com/serie-dmp/>.
- Domat SAS (2023, 31 mayo). Nosotros | Plantas de concreto. <https://domatlda.com/nosotros/>.
- Jibon, M., Mahedi, M., Yang, B., Ceylan, H., & Kim, S. (2023). Evaluating and modeling aggregate loss of Otta seal for low-volume roads. *Construction & Building Materials*, 398, 132467. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132467>.
- Lee, L. S., & Estrada, H. (2020). *Materials for Civil Engineering: Properties and Applications in Infrastructure*. McGraw-Hill Education.
- Martins, J. V., Teresa, P. A. M., Garcia, D. C. S., & Santos, W. J. D. (2022). Management and characterization of concrete wastes from concrete batching plants in Belo Horizonte – Brazil. *Journal Of Materials Research And Technology*, 20, 1157-1171. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.136>.
- Sistema Integrado de Consultas de Clasificaciones y Nomenclaturas. (s. f.). [https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co\\_metal.php?id=44428.00.00#:~:text=Las%20volquetas%20m%C3%A1s%20utilizadas%20son,de%20la%20construcci%C3%B3n%20como%20dobletroques](https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_metal.php?id=44428.00.00#:~:text=Las%20volquetas%20m%C3%A1s%20utilizadas%20son,de%20la%20construcci%C3%B3n%20como%20dobletroques).