UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de reutilización de agua y optimización de mermas de concreto
mediante floculantes para la industria de premezclado

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Rivero Aranibar, Zeidy Vilma (0000-0003-0215-4292)

Morales Caro, Álvaro Manuel Alexander (0000-0002-5406-4152)

ASESOR

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, 11 de setiembre del 2020

DEDICATORIA

*A nuestros padres y hermanos por ser el pilar fundamental en toda nuestra educación,
tanto académica, como personal, por su apoyo incondicional mantenido a través del
tiempo. Este trabajo fue gracias a ellos.*

AGRADECIMIENTOS

Primero y como más importante, nos gustaría agradecer sinceramente a nuestro asesor por su constante apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para nuestra formación como investigadores.

Él nos ha inculcado un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podríamos tener una formación completa como investigadores.

A su manera, ha sido capaz de ganarse nuestra lealtad y admiración, así como sentirnos en deuda con él por todo lo recibido durante el período de tiempo que ha durado esta tesis.

RESUMEN

El presente trabajo analiza una propuesta de reutilización de agua proveniente del concreto fresco retornado a las plantas de premezclado. Esta propuesta es dada mediante productos floculantes, los cuales ayudarán a la clarificación del agua concentrada en las pozas de las industrias de premezclado. Asimismo, el agua recuperada tendrá similares características que el agua convencional utilizada, y que posteriormente ingresará al nuevo diseño de concreto, en donde aportará en un 5% en la resistencia del concreto adicional. Por otro lado, se analizó la posibilidad de reutilizar los finos acumulados en el fondo de las pozas, pero estos no aportan resistencia al concreto ya que presenta el cemento ya hidratado; sin embargo, se puede utilizar para otros propósitos. Se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo de la incidencia económica, ambiental y legal; en el estudio de aguas de lavado se han analizado parámetros básicos (densidad por pesada diferencial, pH mediante pHmetría, composición química) de tres muestras procedentes de distintas plantas de premezclado para evaluar la calidad de los vertidos. Se proponen soluciones aplicables y mejoras tecnológicas en el proceso de lavado de mixers con el fin de disminuir el volumen de los sólidos arrastrados, sin que ello perturbe el medio ambiente, y posibilitando un ahorro del agua. Por último, con el floculante elegido y los resultados obtenidos se analizará la optimización económica que produce este método para la limpieza de mixers de concreto premezclado.

Palabras Claves:

Concreto; floculantes; medio ambiente; mixers; reutilización; agua

Proposal for the reuse of water and optimization of concrete mermas through flocculants
for the premixing industry

ABSTRACT

The present work analyzes a proposal for the reuse of water from fresh concrete returned to the ready-mix plants. This proposal is given through flocculating products, which will help clarify the concentrated water in the pools of the premixing industries. Likewise, the recovered water will have similar characteristics to the conventional water used, and which will subsequently enter the new concrete design, where it will contribute 5% in the strength of the additional concrete. On the other hand, the possibility of reusing the fines accumulated at the bottom of the ponds was analyzed, but these do not provide resistance to the concrete since the cement already hydrated; however, it can be used for other purposes. A qualitative and quantitative analysis of the economic, environmental and legal incidence was carried out; In the study of washing water, basic parameters (density by differential weighing, pH by pH metry, chemical composition) of three samples from different premixing plants have been analyzed to evaluate the quality of the discharges. Applicable solutions and technological improvements are proposed in the mixer washing process in order to reduce the volume of entrained solids, without disturbing the environment, and making it possible to save water. Finally, with the chosen flocculant and the results obtained, the economic optimization produced by this method for cleaning ready-mix concrete mixers will be analyzed.

Keywords:

Concrete; flocculants; environment; mixers; reuse; water

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Realidad problemática	6
1.3. Formulación del Problema.....	8
1.4. Hipótesis	8
1.5. Objetivo General.....	9
1.6. Objetivos Específicos	9
1.7. Descripción del Contenido	9
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LOS TRAMIENTOS DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE MERMAS EN LA INDUSTRIA DE PREMEZCLADO	11
2.1. Descripción de la industria del premezclado y proceso de reutilización de mermas en el mundo y en el Perú.....	11
2.1.1. En el Perú:	11
2.1.2. Industria del premezclado en el mundo:.....	14
2.2. Descripción del proceso productivo de la planta de producción de premezclado.....	17
2.3. Estándares y normas para el diseño de mezcla de concreto:	22
2.4. Gestión de Mermas	24
2.5. Gestión de agua	29
2.5.1 Caracterización de efluentes líquidos	29
2.5.2. Sistema de lavado de camiones de mezcladoras	30
2.5.3. Reducción de la huella hídrica con recirculación de agua.....	31
2.6. Problemática sobre la disposición de mermas	32
2.7. Alternativas de optimización de mermas.....	32
3. CAPÍTULO III: MÉTODO DE REUTILIZACIÓN DE AGUA	34

3.1.	Análisis del agua a tratar	34
3.2.	Elección del floculante	36
3.3.	Prueba preliminares para determinar la dosificación a utilizar en el concreto de mayor producción	39
3.4.	Pruebas industriales para ajuste de dosificación.....	41
3.5.	Análisis físico y químico del agua recuperada	46
4.	CAPÍTULO IV: PROPUESTAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONALES	49
4.1.	Características de agregados para diseños	49
4.2.	Diseño de concreto	51
4.3.	Evaluación de desempeño del agua recuperada en nuevas mezclas de concreto	59
4.3.1.	Ensayos en concreto fresco.....	60
4.3.2.	Ensayos en concreto endurecido.....	64
4.3.3.	Ensayos de durabilidad del concreto	83
4.4.	Análisis de resultados del desempeño del agua tratada	85
5.	CAPÍTULO V: ANALISIS COMPARATIVO DE VIABILIDAD ECONOMICA DE LA PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA Y AGUA CONVENCIONAL	90
5.1.	Análisis de costos del sistema convencional	90
5.2.	Análisis de costos del sistema con floculantes	97
5.3.	Costo comparativo de la producción de concreto.....	101
5.4.	Optimización de costo en la industria del premezclado por el uso del método103	
6.	CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES.....	107
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
8.	ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas del concreto premezclado vs concreto hecho en obra	13
Tabla 2. Características de densidad con relación a la frecuencia del ensayo.....	22
Tabla 3. Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla	23
Tabla 4. Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada	24
Tabla 5. Merms de concreto generadas en una planta de premezclado	26
Tabla 6. Comparación de resultados obtenidos del análisis del agua a tratar y los límites permisibles para el agua de mezcla de la norma NTP 339.088	35
Tabla 7. Comparación de dosificación, precio unitario y tiempo de sedimentación entre las alternativas de productos floculantes.	38
Tabla 8. Comparación de resultados obtenidos del análisis del agua tratada con el floculante elegido y los límites permisibles para el agua de mezcla de la norma NTP 339.088	39
Tabla 9. Resultados de los ensayos físicos-químico del agua combinada	48
Tabla 10. Características de los posibles agregados a utilizar en el diseño de mezcla ...	51
Tabla 11. Dosificación del diseño de mezcla corregido para 1m ³ y para 35 litros	52
Tabla 12. Diseños de mayor demanda con agua convencional y con agua tratada	56
Tabla 13. Diseños en diferentes proporciones con agua convencional y con agua tratada del diseño 1280N67B	58
Tabla 14. Resultados de los ensayos de concreto fresco con agua combinada	61
Tabla 15. Resultados de temperatura, % de aire y pérdida de trabajabilidad de los diseños realizados.....	62
Tabla 16. Resultados de temperatura, % de aire y pérdida de trabajabilidad del diseño 1280N67B.....	63
Tabla 17. Reporte de resistencia a los 7 días de concreto de agua combinada y convencional.....	66
Tabla 18. Reporte de resistencia a los 28 días de concreto de agua combinada y convencional.....	67
Tabla 19. Resultados de ensayos a concreto endurecido a para los diseños de mayor demanda en la industria del concreto premezclado	69
Tabla 20. Resultados de ensayos a concreto endurecido de diseños con diferentes proporciones con agua convencional y con agua tratada	70
Tabla 21. Resultados de las pruebas de durabilidad con el método de permeabilidad....	84

Tabla 22. Datos del funcionamiento de la limpieza de mixer convencional	91
Tabla 23. Costo por camión lavado en la empresa Unicon	93
Tabla 24. Costo por camión lavado en la empresa Mixercon	95
Tabla 25. Beneficios del sistema de pozas	96
Tabla 26. Datos del funcionamiento de la limpieza de mixer con el método del floculante	97
Tabla 27. Costo por camión lavado con la metodología del floculante	100
Tabla 28. Costo de producción de 1 m ³ de concreto de los diseños con agua convencional y agua combinada	102
Tabla 29. Datos de la industria del premezclado y del método del floculante	103
Tabla 30. Resumen económico del uso del método propuesto.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de desmonte de concreto en la planta de concreto premezclado	7
Figura 2. Consumo de cemento Vs PBI Total medidos en Ton. (2019).	12
Figura 3. Consumo de agua en Holcim	16
Figura 4. Proceso de fabricación de concreto premezclado	19
Figura 5. Proceso de limpieza de unidades en la empresa Mixercon	21
Figura 6. Proceso de limpieza de unidades en la empresa Unicon.....	21
Figura 7. Zona de desmonte en empresa A de premezclado	28
Figura 8. Zona de desmonte en empresa B de premezclado	28
Figura 9. Aprovechamiento de agua de lavado de mixers para el proceso de producción de concreto.....	31
Figura 10. Proceso de Floculación	33
Figura 11. Toma de muestra del agua de la poza final del sistema convencional.....	35
Figura 12. Comparación de sedimentación utilizando 2ml de las alternativas de productos floculantes en el agua a tratar	37
Figura 13. Resultado obtenido de Ph del agua tratada	40
Figura 14. Resultado de dosificación del floculante elegido.....	41
Figura 15. Pesaje del producto floculante elegido.....	42
Figura 16. Llenado de agua en el bidón donde se realizará la mezcla con el producto floculante	42
Figura 17. Llenado de agua en el bidón donde se realizará la mezcla con el producto floculante	43
Figura 18. Bomba utilizada para el ingreso de la mezcla a la tolva	43
Figura 19. Ingreso de mezcla a la tolva de la lavadora de agregados.....	44
Figura 20. Clarificación del agua en la tolva con el tornillo sinfín	45
Figura 21. Pesaje de los insumos para la elaboración de los diseños de concreto	53
Figura 22. Ingreso de insumos al trompo mezclador.....	53
Figura 23. Muestra de concreto con agua convencional	54
Figura 24. Muestra de concreto con agua combinada	54
Figura 25. Medición de densidad del agua combinada con floculante.....	59
Figura 26. Preparado y desmolde de probetas de concreto con agua combinada.	64
Figura 27. Ensayo de compresión de probeta de concreto con agua tratada	65
Figura 28. Ensayo de compresión de las probetas de 6x12	83

Figura 29. Desarrollo de resistencia según el tiempo de vida del concreto del diseño inicial y concreto de mayor demanda	86
Figura 30. Desarrollo de resistencia según el tiempo de vida del concreto de los diseños para diferentes proporciones de agua.	87

INTRODUCCIÓN

En Lima, la producción de concreto premezclado se ha intensificado en los últimos años pero por otro lado también se ha intensificado la devolución de concreto fresco de las obras hacia las empresas de concreto premezclado esto debido a diferentes factores de los cuales los principales son por un metrado de concreto en exceso o por altos tiempos de espera en obra de las unidades con concreto por lo que tienen que ser retornados a planta. Ante ello, la empresas de concreto premezclado no cuentan con espacio para recepcionar todo este material por lo que tienen que contratar a una empresa tercera para que realice su eliminación; sin embargo, en nuestra ciudad solo contamos con dos botaderos formales conforme al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014), los cuales han alcanzado a cubrir su capacidad máxima por ello se debe realizar un pago excesivo para su eliminación pero las empresas de concreto premezclado no cobran a los Clientes este costo adicional.

Otro factor muy importante es el gran impacto ambiental que se genera, dado que uno de los insumos principales del concreto es el agua, este interviene en el proceso de producción y en el lavado de las unidades, por lo que para este último proceso se utiliza aproximadamente de 200 a 300 litros, por cada unidad. Algunas empresas reutilizan el agua del lavado de las unidades realizando un proceso de sedimentación en pozas, que dura aproximadamente 12 días. Este tiempo puede ser reducido a 3 horas con ayuda de productos floculantes, asimismo se reduciría los espacios utilizados para las pozas, y a la vez eliminar el espacio empleado para el proceso de sedimentación, puesto que las plantas de premezclado no cuentan con tanto espacio territorial.

El objetivo es conseguir, a partir del agua de limpieza, este recurso pueda ser reutilizado en la producción de concreto, sin que ello perturbe el medio ambiente, y posibilitando un ahorro del recurso.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

En el primer capítulo de la presente tesis se presentarán los datos más relevantes que genere la presente investigación, en los cuales se detallara la problemática de las empresas de concreto premezclado para la limpieza de sus vehículos que transportan su producto. También, proporcionara la hipótesis con sus respectivos objetivos que se desarrollaran en cada uno de los capítulos posteriores.

1.1. Antecedentes

Uno de los cambios tecnológicos más grandes de nuestro tiempo es limitar y utilizar la gran cantidad de desperdicios de la construcción, que son el resultado del desarrollo de la sociedad moderna, tal como lo indicaba Marco Paulo Calarza (2011). Dentro de esta estructura están los siguientes aspectos:

- Limitación de los residuos en concordancia con las demandas de protección ambiental y la creciente falta de lugares de depósito apropiados.
- Utilización de los residuos para un reciclaje adecuado y reutilización, donde la energía y las fuentes puedan ahorrarse.

La necesidad de reciclaje en la construcción no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global con diferentes prioridades. Muchos países, que van desde los más industrializados como Holanda o Dinamarca, a otros en vías de desarrollo como Bangladesh, experimentan el ahorro de recursos naturales.

En tal contexto nos referimos a las investigaciones que se realizaron con alguna similitud o relación con nuestro tema:

- Ramón, Miranda Castillo (2009).

Ramón Miranda Castillo realizó una investigación titulada “Evaluación tecno- económica para la reutilización del agua, mediante el tratamiento de residuos en una planta de hormigón premezclado”, la cual consistió en una evaluación tecno-económica de alternativas de tratamiento de riles para la reutilización del agua en el proceso productivo de la empresa Pétreos, planta Quilín. Pétreos S.A. es una empresa perteneciente al grupo de Cementos Polpaico y su rubro específico es la fabricación de hormigón premezclado. La planta Quilín es una de las más grandes a nivel nacional de hormigón

premezclado localizada en la ciudad de Santiago (Chile), con una demanda de producción de 255.704 m³ de hormigón al año. El escenario actual en la cual se encuentra esta planta de hormigón en el tema de reciclaje, es sólo a escala de plan piloto, ya que actualmente existe un sistema de piscinas de decantación, que logra separar la materia sólida de la líquida, pero para la reutilización del agua en el proceso productivo proveniente del residuo, aún no existen estudios que avalen su factibilidad sin variar las características de resistencia, fraguado etc. del hormigón. Para lograr el objetivo propuesto se analizaron dos tipos de tratamientos de residuos (el sistema mecánico y el sistema no mecánico) de los cuales sólo uno resulta factible técnicamente. El sistema mecánico de reciclaje total es el más recomendable, ya que este sistema cuenta con un tratamiento al agua que es de suma importancia para lograr la reutilización de este recurso en el proceso productivo. Posteriormente, se realiza el análisis económico para este sistema de reciclaje, mediante el cálculo del tiempo de amortización y el respectivo flujo de caja, el que mediante su análisis, se pudo determinar la rentabilidad del proyecto. Además, cabe resaltar que la estructura usada en el presente trabajo puede servir como pauta para una eventual certificación a la norma ISO 14000, de medio ambiente.

Aporte del antecedente:

La anterior investigación aporta en la presente investigación el método de reutilización de agua mediante la separación de la materia sólida de la líquida. Para ello la investigación realizó una comparación entre los sistemas mecánicos y no mecánicos, dando como conclusión que el sistema mecánico es el más recomendable; sin embargo, el costo a invertir es muy elevado por ello la presente investigación realizó la toma de datos del sistema no mecánico a fin de con ello proponer una nueva alternativa de reutilización de agua que aporte con el medio ambiente a un menor costo para las empresas de concreto premezclado.

- Adán Vázquez Rojas (2011)

El autor realizó un estudio titulado “Elaboración de concretos con aguas tratadas”, en donde se realiza la comparación de los concretos preparados con aguas residuales de diferentes zonas de la ciudad, en la cual compara mediante ensayos las características de las diferentes mezclas de concreto con dichas aguas. Se debe señalar que estudio se basó en la investigación de C. Bedoya y C. Medina (2015).

A partir de los resultados de los especímenes sujetos a compresión, podemos decir que utilizar agua tratada procedente de las plantas Chapultepec, Azcapotzalco y Tlatelolco no causa efectos negativos tales como reducción de la resistencia a la compresión; por el contrario, se tienen incrementos entre 10 y 40 por ciento en su resistencia.

Según los resultados de los especímenes de las plantas San Juan y Acueducto, las resistencias se mantuvieron por arriba de 80 por ciento de la resistencia de diseño.

Con los análisis químicos podemos confirmar que, debido a la calidad del agua presentada por las plantas mencionadas anteriormente, la misma puede utilizarse para la elaboración del concreto, siempre y cuando se les dé un tratamiento adicional para eliminar o reducir el contenido de grasas y aceites presentados en las muestras, ya que es este parámetro el único que queda fuera de límite, pues podría causar efectos negativos en la adherencia entre el concreto y el acero, así como efectos de retardo en el fraguado.

El agua residual tratada deberá utilizarse con muchas reservas para construcciones tales como guarniciones, banquetas, canchas deportivas, instalaciones subterráneas etcétera.

Aporte del antecedente:

Esta investigación aporta en la presente investigación en los análisis químicos realizados a los diferentes tipos de agua residual en la ciudad México. Asimismo se realizó la comparación con los resultados obtenidos del agua a tratar en la presente investigación con los resultados obtenidos en la ciudad de México, a fin de implementar el mismo tratamiento a la calidad del agua con la finalidad de obtener el incremento del 40% de resistencia del concreto

a compresión. Para ello se realizó la toma de datos del diseño de concreto implementado en dicha investigación.

- María Fernanda Serrano Guzmán y Diego Darío Pérez Ruiz (2011).

El concreto es el material más utilizado en la construcción por sus propiedades mecánicas a largo plazo y por los acabados que se pueden lograr cuando las prácticas de colocación son eficientes. Para la preparación de mezclas de concreto se requiere la dosificación de cemento, arena, triturado, agua y en ocasiones aditivos. La producción de los agregados naturales se hace, por lo general, mediante la explotación o mediante la extracción mecánica o manual de estos materiales pétreos; actividades que generan un gran impacto en el ambiente por el desgaste del recurso suelo y por la alteración del paisaje y de la calidad del aire y agua, en algunos casos. Por esta razón, surge la iniciativa de proponer mezclas de concreto en las cuales se sustituyan proporciones de los agregados pétreos por residuos industriales. Este trabajo resume el desarrollo de dos investigaciones; en la primera de ellas se prepararon mezclas de concreto utilizando un total de 4 diferentes proporciones de agregados convencionales y no convencionales y se prepararon 180 especímenes de concreto que se probaron a compresión. En la segunda se reemplazaron proporciones de agregados por escombros de concreto y limalla; se analizaron un total de 4 diferentes proporciones de agregados y limalla y se prepararon un total de 144 muestras de concreto.

Los resultados demuestran que la incorporación de materiales no convencionales en la mezcla de concreto, dosificando las muestras con el menor porcentaje de vacíos, genera resultados favorables de resistencia a la compresión. Las mezclas de concreto preparadas con una relación agua cemento de 0.4 presentaron resistencias superiores a las de diseño (210 kg/cm^2). Estas mezclas contenían las proporciones del 23% de agregado fino, 61% de agregado grueso, 10% de escombros y 6% de limalla fina y del 40% de agregado fino, 50% de grueso y 10% de escombros. El módulo de elasticidad determinado experimentalmente en estos casos presentó valores por encima de los valores estimados con las ecuaciones determinadas por la norma sismo resistente de 2010. Se recomienda la continuación de trabajos

experimentales que permitan la validación de los diseños establecidos. Finalmente, los resultados aquí presentados constituyen un viable aporte de materiales a ser aprovechados en el sector de la construcción, por cuanto el concreto producido tiene un costo hasta un treinta por ciento menor que el concreto convencional, este mismo resultado se obtuvo en la investigación de Dillmann (1998). De esta forma, los residuos industriales utilizados empiezan a tener un valor comercial mayor que el valor actual. Adicionalmente, la práctica de aprovechamiento de residuos inertes en la producción de concreto favorece a la protección y conservación del ambiente. Ambos proyectos propiciaron la interacción con la empresa privada.

Aporte del antecedente:

La anterior investigación aporta en la presente investigación en referencia a la gestión de mermas, dado que propone alternativas de reutilización del agregado, este insumo es utilizado en el concreto en un 50% - 80%, por lo que estas propuestas benefician a las empresas de premezclado en una alternativa adicional al proceso de reutilización de agua. Asimismo, esta investigación aporta en la utilización del material fino hidratado que se almacena en el interior de las pozas de lavado de unidades.

1.2. Realidad problemática

En Lima la producción de concreto premezclado se ha intensificado en los últimos años, por otro lado también se ha intensificado la devolución de concreto fresco de las obras hacia las empresas de concreto premezclado esto debido a diferentes factores de los cuales los principales son por un metrado de concreto en exceso o por altos tiempos de espera en obra de las unidades con concreto por lo que tienen que ser retornados a planta. Se sabe que el mercado mundial tiene un problema de administrar sus desechos de concreto, debido a la gran cantidad de estas. Se estima que el porcentaje de mermas y concreto retornado a las plantas de premezclado varía entre 3% a 7%, estos porcentajes son cuantitativamente similares en las diferentes plantas de concreto premezclado. La industria de premezclado en el Perú produce cerca de 5 millones de metros cúbicos de concreto al año, lo cual genera 250 mil metros cúbicos de concreto devuelto y mermas.

El sistema convencional de limpieza de camiones de mezclado, posee poca optimización, debido a que no es un proceso productivo, ni atractivo de inversión para la industria del premezclado. Este sistema al ser poco eficiente genera residuos sólidos del concreto fresco retornado y agua contaminada del proceso de limpieza. Además, el sistema convencional no genera una reducción de contaminación ambiental en gran escala, debido a la poca optimización de este proceso.

Estos desechos son dispuestos a lugares de disposición como botadero autorizados, los cuales han alcanzado a cubrir su capacidad máxima; sin embargo, en las plantas de concreto siguen aumentando la producción esto ha generado que la disposición del concreto devuelto este condicionado a diversos pagos, los cuales se van encareciendo conforme el volumen disponible para su disposición. Este escenario nos conduce a la pregunta ¿Cómo disponer correctamente del concreto devuelto a planta?, esta disposición puede estar orientado al uso directo de este mortero o a su separación en sus componentes básicos para producir nuevas muestras de concreto y de esta manera contribuir con el medio ambiente.

En la Figura 1 se puede apreciar el montículo de concreto retornado ocupando un gran espacio territorial en una planta de premezclado.

Figura 1. Zona de desmonte de concreto en la planta de concreto premezclado
Nota. Elaboración propia (2020)

1.3. Formulación del Problema

Las plantas industriales de concreto premezclado en la actualidad tienen un alto volumen de desperdicios, mermas de concreto, y utilización de agua en grandes cantidades. En este contexto las empresas de premezclado en el Perú, reutilizan el agua en mínimas cantidades o en su defecto no lo hacen, generando daños a la huella hídrica en el ambiente. Estas compañías, tiene cifras significativas de desperdicios, por lo que genera una problemática ambiental y económica. Dentro de la problemática del ambiente, se puede identificar la contaminación de ella, ya que en sus procesos de limpieza de mixers desechan una gran cantidad de desechos de concreto y agua contaminada, lo cual no es beneficioso para el medio ambiente. Además, el espacio empleado como zona de desmonte de concreto cada vez es mayor y genera un aumento de superficie dedicada exclusivamente a los desechos de dicha problemática ambiental. Dentro de la problemática económica se encuentran las multas legales que la empresa de premezclado percibe por la deficiente gestión de desechos de concreto, lo cual no es beneficioso para el propósito de la empresa. También, existe deficiente productividad en los procesos, puesto que la optimización de estos procesos se encuentra muy lejos de la eficacia del manejo de mermas de concreto premezclado.

Lo cual nos lleva a hacernos la pregunta:

¿Qué propuesta óptima, para el bienestar económico y ambiental, de la empresa y del país, realizan las plantas de concreto premezclado en su proceso de limpieza de camiones con concreto retornado de las obras?

1.4. Hipótesis

En este caso, hemos mencionado anteriormente que se analizó el proceso de desecho de concreto devuelto de las obras y las mermas generadas por eventos ocasionados con responsabilidad de la planta de premezclado, para posteriormente comprobar que los impactos ambientales y económicos son las principales dificultades para la industria del premezclado. Por ello, llegamos a la conclusión que las mermas de concreto es un tema que debería tener solución próximamente y planteamos cambiar el sistema convencional de reutilización de agua de pozas por un sistema de sedimentación mediante

floculantes, y de esta manera aprovechar el agua proveniente del proceso de limpieza de camiones, para la producción de concreto en una planta que elabora este material premezclado. A la vez reutilizar las mermas solidas de concreto en innovadoras propuestas de uso en el mundo de la ingeniería moderna. Teniendo en cuenta la reducción de espacios utilizados, multas legales, contaminación ambiental y mermas de productividad; para el beneficio de la industria de premezclado del país.

1.5. Objetivo General

- Proponer la reutilización de agua para la preparación de concreto y optimizar la reducción de mermas de concreto para la industria del premezclado.

1.6. Objetivos Específicos

- Identificar y analizar los métodos que se vienen desarrollando para el manejo de mermas de concreto tanto en su eliminación o reutilización hasta la actualidad.
- Determinar el floculante a utilizar como método de reutilización del agua proveniente de las mermas de concreto, haciendo uso de ensayos normados y analizando el tiempo de reacción, costos, dosificación y cumplimiento de la norma NTP 399.088.
- Aplicar diversos diseños de concreto convencionales ($f'c$ 210, 280 y 350 kg/cm²) con agua tratada para determinar las características del concreto elaborado empleando ensayos normados bajo el ACI, NTP y ASTM.
- Comprobar que la alternativa propuesta sea viable para la sustitución del agua de producción, empleando un análisis comparativo económico básico basado en costos y beneficios.

1.7. Descripción del Contenido

Capítulo I: El primer capítulo contiene información sobre el inicio de la tesis, es decir el problema que incentivo al desarrollo de esta tesis, así como la hipótesis que resolverá este problema existente en el país y en el mundo. También, los objetivos que se desarrollaran en la totalidad de la tesis para generar la validez de la hipótesis.

Capítulo II: El segundo capítulo muestra información de los procesos actuales de limpieza de camiones de concreto. Además, se identifica las normas y teorías que se tomaran en cuenta para la validación de la hipótesis. Asimismo, expone los diferentes métodos de gestionar el agua y las mermas solidas de las empresas de concreto premezclado. También, se presenta e indica las alternativas para la optimización de este proceso.

Capítulo III: El tercer capítulo propone un método de reutilización de agua mediante el uso de floculantes en el proceso de limpieza de camiones de concreto. Se escoge el floculante a utilizar para el tratamiento de agua utilizada en el lavado de camiones. Asimismo se definirá la dosis óptima que se destinará por cada volumen de desecho de concreto. Además, se realiza un análisis físico - químico del agua tratada de acuerdo a los parámetros de las normas. Por último se explica cómo se realizó la implementación del producto floculante en una planta de premezclado.

Capítulo IV: El cuarto capítulo se encuentra destinado a la propuesta de reutilización del agua tratada en los diseños de concreto planteados (diseño inicial, diseños de mayor demanda y diseños en diferentes proporciones de agua). Se analizaran las características físicas de los agregados a utilizar en los tres tipos de diseños. También, se realizarán ensayos en concreto fresco y en concreto endurecido para cuantificar la contribución en las características por el uso de agua tratada en los diferentes ensayos de concreto normados y se evaluará los diferentes resultados de estos ensayos.

Capítulo V: El quinto capítulo evalúa la viabilidad de la propuesta de reutilización de este método, aplicando un análisis económico de los procesos actuales para el sistema de limpieza de mixers y el proceso propuesto con el método del floculante con la reutilización del agua en la producción de concreto. También se evaluará el impacto anual que se puede esperar con el uso de este método.

Capítulo VI: El sexto capítulo concluye tomando en cuenta los resultados con mayor relevancia para la investigación e incluye las recomendaciones para la implementación del proceso e investigaciones futuras con relación al tema ejecutado.

Capítulo VII: El séptimo capítulo plantea recomendaciones para la mejora del método planteado, mejora del método planteado y mayor optimización del sistema de limpieza que tienen las empresas de concreto premezclado.

2. CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LOS TRAMIENTOS DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE MERMAS EN LA INDUSTRIA DE PREMEZCLADO

En este segundo capítulo de nuestra tesis se presenta la información de los procesos actuales de reutilización de concreto fresco en diferentes empresas a nivel nacional y mundial. Además, se identifica las normas y teorías que se utilizarán y tomarán en cuenta durante los diferentes procesos para la validación de la hipótesis. Asimismo, se expone los diferentes métodos de reutilización del agua de concretos en estado fresco que se han devuelto de obra a las plantas de premezclado. Finalmente, se presenta e indica las alternativas para la optimización de este proceso.

2.1. Descripción de la industria del premezclado y proceso de reutilización de mermas en el mundo y en el Perú

2.1.1. En el Perú:

El concreto es el segundo material más usado en el mundo por ello la industria del concreto premezclado cada año sigue creciendo debido a las grandes ventajas que sustenta este producto. En el 2016 se consideró, según la SUNAT, 10 compañías concreteras solo en Lima, pero en la actualidad estas empresas aumentaron debido al gran mercado que tiene el Perú. Además, ahora existen grandes compañías internacionales que están iniciando su labor en el Perú.

El mercado peruano se encuentra muy lejos en cuanto volumen de concreto premezclado producido de otros países, ya que existe un alto porcentaje de cemento que está destinado al sector del autoconstrucción. Actualmente se produce mensualmente 230 mil m³ de concreto mensualmente, lo cual comparado con otros países de Latinoamérica es poco significativo.

De acuerdo al Reporte Estadístico Anual 2019 de ASOCEM (2019), se observa en la Figura 2 que la industria del cemento en el 2014 y 2015 registró una desaceleración en su crecimiento, esto es debido a que el Perú en ese año creció pausadamente y esto se reflejó en el sector de la construcción, pero en el 2016 y en los inicios del 2017 esta

desaceleración se revirtió y la industria del concreto premezclado retomó un ascendente crecimiento en los últimos años (2018 y 2019)

Figura 2. Consumo de cemento Vs PBI Total medidos en Ton. (2019).

Nota. Recuperado del “Reporte Estadístico Anual 2019”, de ASOCEM (2019).

De acuerdo a la investigación Concreto Premezclado Vs Concreto hecho en obra (2008) se debe indicar que si bien es cierto la producción de concreto premezclado se está incrementando, pero existe un porcentaje reducido que prefiere elaborar su propio concreto en obra; sin embargo, cuando se necesita un concreto homogéneo y de calidad controlada que cuente con el respaldo de la asistencia técnica del proveedor especializado, normalmente muchos clientes recurren al concreto premezclado elaborado en plantas dosificadoras. Se debe indicar que la ventaja más sobresaliente en el empleo de concreto premezclado es la garantía de su producción en cuanto a las propiedades mecánicas del material. A continuación en la Tabla 1 se indica las ventajas que puede tener un concreto premezclado cuando se compara con el concreto elaborado en obra.

Tabla 1. Ventajas del concreto premezclado vs concreto hecho en obra

Concreto pre mezclado	Concreto hecho en obra
Su producción continua garantiza: calidad y uniformidad	No garantiza calidad y uniformidad
Control sobre asentamiento, diseño de mezclas.	Ausencia del control
Aumenta la eficacia en la entrega, colocado del concreto.	La elaboración, transporte y colocado es poco eficiente.
Reduce la cantidad de personal para su colocación.	No reduce.
No genera retrasos de transporte, limpieza, colocado	Si genera retraso

Nota. Elaboración propia

Conforme a las ventajas presentadas del concreto premezclado, se debe indicar que la preferencia de los clientes en solicitar el concreto a las industrias de premezclado se debe también debido a los nuevos productos que estas diseñan y producen a fin de brindar soluciones de acuerdo a cada necesidad. A continuación se indica algunos tipos de concretos en la industria de premezclado:

- Concreto premezclado estándar: es el concreto convencional o más común que es preparado en la planta garantizando la calidad del concreto.
- Concreto arquitectónico y decorativo: es un concreto con acabados estéticos y decorativos, con características de texturas y que también puede tener funciones estructurales.
- Concreto de fraguado rápido: es un concreto que tiene la característica de endurecerse rápidamente debido a los aditivos que posee.
- Concreto reforzado con fibras: este concreto contiene fibras micro o macro que le dan características estructurales como reducir el encogimiento, mayor ductilidad, etc.

- Concreto fluido: este concreto previene el asentamiento es utilizado para rodear cables y tuberías.
- Concreto compactado con rodillo: este concreto tiene resistencia a la abrasión, es un material para drenajes o estructuras con contacto al agua.
- Concreto autocompactante: este concreto tiene un alto nivel de trabajabilidad y no necesita vibrado por su bajo contenido de aire.
- Concreto poroso: este concreto es permeable y se utiliza en obras con drenaje.
- Concreto antibacteriano: este concreto controla el crecimiento de las bacterias, ayudando a mantener ambientes limpios.

Servicios de la industria del premezclado:

Las compañías de premezclado actualmente no solo brindan el servicio de producción de concreto, sino existen otros servicios que realizan estas empresas. Debido a los grandes alcances de la tecnología, diferentes cantidades de insumos o por la misma necesidad del mercado y del país, la industria de premezclado adopto otros servicios entre los cuales los siguientes: Concreto premezclado, Bombeo de concreto, Venta de agregados, Prefabricados de concreto, Productos de concreto, Pavimentos de concreto, Concreto en minería y consultoría

Y el amplio mercado peruano ya se conectó con estos servicios que cada año se van consolidando y teniendo mayor aceptación en el sector construcción. Además, estos servicios ocasionan que el sector de autoconstrucción disminuya, ya que cada vez se prefiere la calidad que las compañías brindan a sus clientes.

2.1.2. Industria del premezclado en el mundo:

México – Cemex

Cemex es una de las principales empresas dedicadas a la producción de concreto premezclado en el mundo. Esta compañía nació en México, pero en la actualidad tiene presencia en una gran cantidad de países en todo el mundo. Cemex está comprometida con la gestión de agua en el mundo, por lo cual en los últimos años en sus reportes de sostenibilidad, menciona que gestiona el agua para minimizar su uso. Además, tiene protocolos firmados con instituciones y organizaciones protectoras de los recursos ambientales como es La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN en inglés).

La empresa se encuentra implementando a diversas plantas de producción en todo el mundo un sistema de reutilización de agua. El Reporte Integrado de Cemex (2016) indica que en el país de España se encuentran 2 plantas de producción que implementaron este sistema y que dieron resultados:

“Las plantas de concreto de San Fermín y Vicálvaro III utilizan un sistema de canalización del agua con pendientes que recolecta el agua usada durante los procesos de lavado y fabricación, acumulándola en un depósito para después ser reusada. Esta iniciativa garantiza un desperdicio de 0% de agua en el proceso de fabricación de concreto.”

Además, esta compañía cuenta con plantas en otros países, de los cuales en México se utiliza la metodología con pozas de desecho, en las cuales las partículas más pesadas se decantan, para luego ser desechada. Por otro lado, el agua es reutilizada en el mismo proceso hasta que pierden sus características de pureza y es desechada de igual manera.

Suiza – Holcim

Holcim es una empresa dedicada a la fabricación y distribución de cemento, pero también a la producción de concreto premezclado y asfalto. Esta compañía tiene presencia en 70 países y la presencia más grande es en América Latina. Según la revista “Milenio” en el 2013 registro una capacidad de producción anual de 206 millones de toneladas de cemento.

Esta empresa consume agua en todos sus procesos económicos que posee. Además, dicha empresa desarrolla el sistema de pozas en sus plantas de producción de concreto premezclado, por lo que su consumo de agua es elevado.

En la Figura 3 se muestra el consumo de agua en la producción de sus diferentes productos que ofrece en el mercado (cemento, agregados y concreto premezclado)

Figura 3. Consumo de agua en Holcim

Nota. Recuperado del Reporte de Sostenibilidad Holcim 2016, p.13

En el Reporte de Sostenibilidad (2016) de la empresa Holcim, indica que está desarrollando nuevas tecnologías y alternativas para la reutilización del agua. También, está implantando estrategias para el ahorro de agua en sus diferentes procesos, entre los cuales se encuentra identificado el proceso de limpieza de camiones de concreto.

Los recursos hídricos son vitales para el crecimiento de esta compañía, por lo que se preocupan por la reducción de consumo del agua. El reporte de sostenibilidad tiene una meta para el 2030 la cual indica de esta manera:

“Nuestra conciencia de cuán preciado es el agua, nos motiva a administrar los recursos hídricos de manera eficiente, equitativa y sostenible. Nuestra ambición es que todos nuestros sitios en áreas escasas de agua proporcionen más agua a las comunidades y a la naturaleza; de la que consumimos para el año 2030.”

En Brasil en la planta de Pedro Leopoldo identificaron la oportunidad de ahorro de agua en refrigeración en la zona del compresor del departamento de embarque, para luego implementar un mecanismo de reutilización de agua. Esta iniciativa generó un ahorro del 13% del agua utilizada. Asimismo, la empresa está desarrollando planes para el ahorro en la limpieza de camiones.

Francia – Lafarge

Lafarge es una empresa dedicada a la producción de cemento, agregados y concreto premezclado. Esta empresa opera en 62 países y tiene una fuerte presencia en el

continente Africano. En el 2013 registraron una producción anual de 221 millones de toneladas de cemento, según la revista milenio. Su estrategia de negocio son los países que se encuentran en crecimiento o emergentes.

Esta compañía ya cuenta con un programa eficiente de reducción de consumo de agua, el cual está desarrollado mediante el aprovechamiento del agua de lluvia, es decir recolectan este líquido para la utilización en diversas actividades. Se enfocan en reducir la huella hídrica en sus operaciones en lugares de escasa agua.

Lafarge identificó como puntos claves la recolección de agua de lluvia, reciclaje de agua y la reutilización de aguas residuales, que serán utilizados para su actividad económica y para el abastecimiento de las poblaciones cercanas.

La empresa asegura la gestión sostenible del agua en algunas de sus plantas más importantes como es en India (Arasmata, Sonadih y Chhattisgarh), donde han realizado auditorías técnicas de agua y han caracterizado su cuenca. Han convertido los pozos de minas extenuados en estanques para recolectar y almacenar el agua de lluvia, que se utiliza para las operaciones relacionadas a su actividad económica.

En el Informe de Sostenibilidad (2014) de la empresa, nos indican lo siguiente con relación a la limpieza de camiones de concreto:

“La recolección de agua de lluvia en la azotea también se utiliza en las plantas y se extiende a los municipios circundantes para aumentar la recolección y el almacenamiento. Para evitar el desperdicio de agua, se instalaron tuberías subterráneas para evitar fugas, y los separadores permiten que el agua tratada sea reutilizada para el lavado de vehículos.”

Lafarge utiliza el agua de lluvia recolectada en pozos de minas para el lavado de vehículos, pero no contiene un proceso de reutilización de este líquido natural.

2.2. Descripción del proceso productivo de la planta de producción de premezclado

El concreto premezclado es un compuesto de diferentes materiales, entre ellos el cemento que es un material aglutinante, agregados que es un material clasificado, agua para hidratar la mezcla y aditivos para mejorar las características del concreto. La mezcla de estos genera un material compacto que después de un tiempo es capaz de resistir esfuerzos.

El proceso que realizan las empresas para la obtención del concreto premezclado es mediante una planta de producción. La cual es operada mediante comandos para el ingreso de los diferentes materiales al camión mezclador. Cada planta produce diferentes tipos de concreto los cuales pueden tener un mayor o menor efecto en la cantidad de energía consumida, el tipo de materias primas utilizadas, las emisiones líquidas y gaseosas producidas y los residuos generados. Los principales materiales requeridos para la fabricación del hormigón incluyen los áridos (habitualmente en forma de arena, constituyendo aproximadamente un 34% de la composición del hormigón), grava (en aproximadamente un 48 % del hormigón), cemento (en un 12% de la composición del hormigón), agua (en proceso seco alrededor de un 6%). Mientras los dos tipos de agregados consumen la mayor proporción de la mezcla de hormigón, el cemento es el ingrediente clave ya que hace posible la unión de los otros componentes.

A continuación en la Figura 4 se observa el flujograma de como las empresas de concreto premezclado elaboran y distribuyen el concreto.

En la Figura 4 se muestra el flujograma de como es el proceso de fabricación de concreto en una empresa de premezclado.

Figura 4. Proceso de fabricación de concreto premezclado

Nota. Recuperado del Reporte de Sostenibilidad Unicon (2017), p.1

La planta de premezclado presenta espacios determinados para los diferentes materiales que ingresan en la mezcla. Asimismo en la zona de carguío cada planta dosificadora presenta balanzas por cada tipo de insumo para el control del peso de cada material que ingresa al camión de mezclado, así como el orden y la frecuencia. Después del pesaje, ingresa el agua en un 75% a la mezcladora de doble eje, culmina este procedimiento e ingresan los agregados al 100%, de más a menos, esto genera un 20% de polución de la carga total, para ello presentan unos succionadores de polvo, que hace que el polvillo no se expande al exterior. Luego, ingresa el cemento en un 15% a 20%, y al mismo tiempo sigue ingresando el agregado y se termina el procedimiento, ingresando el 25% restante de agua, con el fin de que el cemento no se quede pegado en el mixer. Este porcentaje de agua, se obtiene de un proceso de reutilización de agua. Una vez que ya finalicé todo el proceso de carga, que aproximadamente dura de 5 a 8 min, dependiendo la resistencia del concreto solicitado y si en caso necesita algún insumo adicional que ingresará de manera manual, se genera una señal que indica el término de la producción. Durante este proceso, es muy importante que el chofer de la unidad active el giro en sentido horario a fin de obtener un concreto homogéneo. La planta de producción tiene capacidad para producir concretos de diferentes características.

Luego, de la zona de carguío, la unidad se transporta a la zona de supervisión, en la cual se realiza la verificación y conformidad de la calidad del producto cargado, para ello se realiza diferentes ensayos de calidad del concreto y la toma de muestras. Finalmente, una vez que el supervisor de esta labor indique la conformidad del producto, el chofer de la unidad transporta el producto hacia la obra.

En obra, el concreto puede ser colocado en la estructura mediante el uso de bugui, balde o bomba, en este caso puede ser estacionaria o pluma, ello va a depender de la ubicación de la estructura. En algunos casos, los clientes consideran un gran porcentaje de desperdicio al momento de realizar el requerimiento del concreto, por este motivo se generan los sobrantes de concreto, los cuales son retornados a planta.

En planta, el chofer de la unidad debe realizar la eliminación del concreto retornado en las zonas de desmonte. Posteriormente, realizará el lavado de su unidad, dicho proceso dura aproximadamente 8 min, a fin de no presentar ningún residuo del concreto con cemento hidratado que puede afectar la calidad del nuevo producto a cargar.

En la Figura 5 se puede apreciar el proceso de lavado de unidades que realizan los choferes en la empresa Mixercon, dicho proceso dura aproximadamente 5 min y la recuperación del agua se realiza mediante el proceso de sedimentación.

Figura 5. Proceso de limpieza de unidades en la empresa Mixercon

Nota. Elaboración propia

En la Figura 6 se puede apreciar el proceso de lavado de unidades que realizan los choferes en la empresa Unicon, dicho proceso dura aproximadamente 4 min, este valor dependerá de la cantidad de residuos que contenga la unidad en su interior. Se debe señalar la recuperación del agua también se realiza mediante el proceso de sedimentación a través de 4 pozas.

Figura 6. Proceso de limpieza de unidades en la empresa Unicon

Nota. Elaboración propia

2.3. Estándares y normas para el diseño de mezcla de concreto:

En el Perú existen normas para la utilización de materiales para la producción de concreto en general, que se encuentran redactadas en las normas técnicas peruanas (NTP), en las cuales se establecen los requisitos de cada material para prever inconvenientes que afecten a las características del concreto. Actualmente, la norma para determinar los requisitos de calidad del agua para el concreto es la NTP339.088, que tiene como título: “CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos”. Esta norma tiene el siguiente resumen:

“Establece los requisitos de composición y performance para el agua utilizada como agua de mezcla en el concreto de cemento Portland. Define las fuentes de agua y estipula los requisitos y las frecuencias de ensayo para la calificación de las fuentes de agua” (INACAL, 2014, NPT 339.088)

Dicha norma indica los ensayos que se debe realizar al agua de las operaciones de producción de concreto ¹ para su aprobación como material adecuado para el uso en concreto. La densidad del agua ensayada es fundamental para esta norma, por lo que en la Tabla 2 se indica con qué frecuencia se desarrollaran los ensayos de acuerdo a la densidad del agua.

Tabla 2. Características de densidad con relación a la frecuencia del ensayo

Características de densidad con relación a la frecuencia del ensayo	
Densidad	Frecuencia de ensayo
< 1.01 g/mL	Antes del primer uso y cada 6 meses
> 1.01 g/mL y <1.03 g/mL	Antes del primer uso y cada mes
> 1.03 g/mL y < 1.05g/mL	Cada semana
> 1.05 g/mL	Cada semana hasta presentar mejoras

Nota. Adaptado de la NTP 339.088 (2014)

¹ Agua de las operaciones de producción de concreto: Agua recuperada de los procesos de producción de concreto de cemento Portland que incluye el agua de lavado del camión mezclador (mixer) o la que fue arte de una mezcla de concreto; agua de lluvia colectada en un recipiente en una planta de producción de concreto; o agua que contiene cantidades de los ingredientes del concreto. (NTP 339.088, 2006, pag. 4)

Estos valores de densidad y la frecuencia están expresados en conformidad con la norma ASTM C 1603², al igual que los ensayos que se realizara al agua mezclada o proveniente de operaciones de producción de concreto. Los ensayos que se realizaran a este líquido serán verificados en dos tablas, donde se plantean los requisitos de las características del agua para ser aprobadas para el uso en la producción de concreto.

Para la Tabla 3 se analizaran 2 tandas de muestras, la primera será con agua potable y en la segunda se utilizara el agua que se desea analizar, para de esta manera tener una referencia de las características del concreto que variaron al utilizar agua reciclada. Además, se cuenta con los límites para la conformidad de los requisitos de esta tabla, así como los métodos de ensayos normados. También, dentro de la norma se expone que el uso de aditivos controladores, no está permitido con excepción de los aditivos incorporadores de aire, reductores de agua y estabilizadores de hidratación. Las dos tandas de muestras tendrán las mismas características de diseño y los mismos cuidados (temperatura, curado, contenido de agua, cantidad de aditivos, etc.)

Tabla 3. Requisitos de performance del concreto para el agua de mezcla

Ensayo	Límites	Métodos de Ensayo
Resistencia a compresión, mínimo, % del control a 7 días	90	NTP 339.033 NTP 339.034
Tiempo de fraguado, desviación respecto al control, horas : minutos	De 1:00 más temprano a 1:30 más tarde	NTP 339.082

Nota. Adaptado de la NTP 339.088 (2014)

La Tabla 4 nos muestra los límites químicos que debe tener el agua estudiada, en partes por millón de cada tipo de sustancia que se encuentra en el agua de mezcla combinada. Además, se muestran los métodos de ensayos que se utilizaran para la determinación del contenido de cada sustancia.

² Método de prueba estándar para la medición de sólidos en agua

Tabla 4. Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada

Descripción	Límite Permisible	Métodos de ensayo
Cloruros (ión Cl ⁻)		
1. En concreto pretensado, tableros de puentes o designados de otra manera.	500 ppm máximo	NTP 339.076
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes.	1000 ppm máximo	NTP 339.076
Sulfatos (ión SO ₄)	3000 ppm máximo	NTP 339.074
Alcalinidad	600 ppm máximo	ASTM C 114
Sólidos en suspensión	50000 ppm máximo	ASTM C 1603

Nota. Adaptado de la NTP 339.088 (2014)

2.4. Gestión de Mermas

Existen dos tipos de mermas³ de concreto en el Perú, mermas de concreto generadas en obra y mermas de concreto generadas en la industria de premezclado. Las mermas de concreto en obra se pueden generar en diferentes partidas, como por ejemplo, en la partida de vaciado de concreto en columna, ya que cuando se realiza el vaciado no todo el concreto ingresa en el encofrado, siempre existe un desperdicio. La presente investigación refiere el termino merma a la pérdidas generadas debido a la entrega de producto no conforme al cliente, por lo que este realiza el rechazo de la unidad con concreto, ya sea porque llegó tarde o porque el concreto no cumple con las especificaciones técnicas, por lo cual la unidad debe volver a planta con la misma cantidad de concreto que cargó.

³ Mermas: Disminución o reducción de volumen o la cantidad de una cosa.

En la Tabla 5 se observa las mermas generadas en el 2018 en una empresa de concreto premezclado donde las principales deficiencias de la planta son por distribución y falla mecánica de las bombas. Asimismo, se evidencia que el volumen total de mermas en el 2018 fue de 4712 m³, lo cual conforme al volumen de concreto producido anualmente por una planta (2, 760,000 m³), este valor equivale a 3.4% para un total de 20 plantas de premezclado.

Tabla 5. Mermas de concreto generadas en una planta de premezclado

Motivos de mermas	2018												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Distribución	119	206	83	71	182.5	105.5	148.5	138	84	141	150	135	1563.5
Despacho	55.5	136	53	45	142	65.5	104.5	64	20	63	30	44	822.5
Programación	29.5	50	30	26	15.5	33.2	11.5	38	53	51	45	27	409.7
Transportes	34	20	-	-	25	6.8	26.5	23	11	20	15	28	209.3
Coord. Obra	-	-	-	-	-	-	6	13	-	7	-	15	41
Producción	54	132	101	129	59	100	10.5	75	31	36	44	35	806.5
Un bombas	92	64	70	63	108	113	54.5	58	51	48	50	59	830.5
Mantenimiento	48	71	6	83	50	75	46.5	7	18	51	36	68	559.5
Trafico	4	40	26	53	60	6	-	39	20	15	9	-	272
Comercial	4	9.5	25	14.5	17	4	3.5	17	6	6	18	-	124.5
Sistemas	-	11.0	5	-	6	41.5	-	1	-	-	-	10	74.5
Cantera	-	-	-	-	37	-	25	-	-	-	-	35	97
I&d	6	9.0	-	-	-	5	-	-	3	-	8	-	31
Temperatura	-	-	8	6	-	-	-	-	7	-	-	7	28
Logística	-	-	-	-	7	-	5	7	-	-	-	11	30
Otros	-	-	-	-	-	-	6	-	-	11	5	-	22
Sutran	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	4	8
Volumen Merma	327	542.5	385	419.5	526.5	450	303.5	342	220	308	410	478	4712

Nota. Esta tabla muestra la cantidad de merma producida por diferentes motivos en una planta de premezclado en el 2018

Este análisis nos ayuda a confirmar el problema planteado para esta tesis, por lo cual ahora analizaremos cómo es que se realiza la gestión de mermas en la planta de concreto premezclado. Las empresas de concreto premezclado en el Perú, tienen un proceso de gestión de mermas diferente, ya que algunas empresas realizan el proceso de manera “insitu” o lo llevan a sus botaderos donde realizan el proceso de trituración de concreto endurecido para obtener los agregados. Para este nuevo análisis, se visitó a las empresas de premezclado con mayor porcentaje en el mercado, tales como Unicon y Mixercon. El proceso que realizan estas empresas es el siguiente:

Posterior al rechazo de concreto en obra, el mixer regresa a la planta, esto ocurre si en caso no se tenga una obra cercana donde se pueda entregar este concreto. En caso que el concreto no haya sido rechazado, de todos modos en el mixer siempre se mantiene una cantidad mínima de concreto, dicho valor ha sido investigado por el Ing. Enrique Pasquel (2014), quién determinó que el porcentaje que regresa a la planta es de 2.5% aproximadamente en un mixer de 8 m³, esto ocurre debido a que cuando se carga éste con muy poco volumen y la disposición de las paletas no permite un buen mezclado, y consecuentemente una parte de la mezcla se adhiere en la superficie interna y no llega a descargarse. Como conclusión, siempre se regresa a la planta con un porcentaje de concreto. Este volumen mínimo es desechado en planta y luego se realiza la limpieza de la unidad, este último proceso se realiza mediante la sedimentación. A diferencia de la empresa Mixercon, que actualmente cuentan con una lavadora, que ayuda a la separación de los agregados de manera “insitu” con pasta de cemento que posteriormente ingresa a la poza para el proceso de sedimentación conforme a lo indicado en el manual BIBKO System (2007), pero lo que se obtiene al final es un tipo de fino que se acumula en las pozas de eliminación y que cuesta en gran escala su eliminación, ya que estos finos son desechados mediante camiones de cisterna de succión de lodos que por un volumen de 12 m³ el costo es de 960 soles, y en una planta de concreto premezclado de una producción media de 1000 m³ al día se necesita entre 4 a 5 cisternas, lo cual ya genera un costo de 4800 soles por día. Se debe señalar que este equipo se utiliza en muchos países, tal es así que C. Lobo, y G. Mullings (2003) realizó una investigación del funcionamiento del equipo.

En la Figura 7 se muestra las mermas de concreto premezclado generadas por la devolución de concreto de obra a la planta de concreto premezclado una empresa A

Figura 7. Zona de desmonte en empresa A de premezclado
Nota. Elaboración propia

En la Figura 8 se muestra las mermas de concreto premezclado generadas por la devolución de concreto de obra a la planta de concreto premezclado una empresa B

Figura 8. Zona de desmonte en empresa B de premezclado
Nota. Elaboración propia

2.5. Gestión de agua

El agua es una materia prima para la elaboración de concreto en general y la industria del premezclado es consciente de esta necesidad para su producción, por lo cual estas compañías tienen una gestión de este recurso natural. En esta gestión las compañías aportan un proceso donde se considera la sostenibilidad y el cuidado de este recurso. Otros usos del agua en la industria incluyen la necesaria en el mezclado, en el lavado de los agregados, así como también en el lavado del equipamiento y los camiones, conforme a la investigación de A. Toledo (2017)

La industria del premezclado en particular, tiene un interés especial en lograr mejores prácticas de manejo de agua ya que dependen del agua a lo largo de todo el proceso de producción y entrega de sus productos.

La gestión del agua es esencial en la industria. Las compañías deben extraer menos agua de los acuíferos locales, y también asegurarse de que los efluentes cumplan con las normas de calidad de descarga de agua. El Consejo Mundial de Empresas para el Desarrollo Sustentable de la Iniciativa de Sustentabilidad del Cemento señala:

“Las empresas deben comprender en primer lugar las existencias de agua del sitio y luego administrar la cantidad de agua extraída, así como la calidad de dicha agua, con especial atención en aquellas áreas con estrés hídrico. Siguiendo un enfoque basado en el riesgo, se deben tomar acciones para compensar la huella hídrica de la industria, particularmente a nivel local, en donde las instalaciones y actividades individuales pueden tener implicancias para otros usuarios del agua en la zona.”

2.5.1 Caracterización de efluentes líquidos

Las aguas residuales de la industria del premezclado pueden presentar una elevada cantidad de sólidos disueltos (hidróxido de sodio y potasio) y suspendidos (carbonato de calcio), alta alcalinidad, posibilidad de auto fraguado, y calor residual. Esta situación se presenta tanto en los procesos de transformación a productos como en el proceso de desecho de mermas de concreto fresco. Además, el efluente líquido proveniente de la mantención y limpieza de las plantas y camiones, puede aportar grasas y aceites de las distintas maquinarias y vehículos, esta información también fue concluida en la investigación de Ghrair, A. M., Al-Mashaqbeh, O. A., Sarireh, M. K., Al-Kouz, N., Farfoura, M., & Megdal, S. B. (2016).

A modo de estimación del caudal generado, por ejemplo, la empresa Unicon en el 2017 tenía el 60% de mercado en el Perú en un día produce 6400 m³ de concreto en todas sus plantas aproximadamente, y la producción en todo el país de distintas concreteras sería 10500 m³ diarios con el porcentaje de mercado. Anualmente se produciría 3.7 millones m³ de concreto premezclado en Lima, y un camión transporta entre 6 a 8 metros cúbicos, lo cual se estima unos 480000 viajes de camiones. Para el lavado de un camión de concreto se necesita entre 200 a 300 litros de agua, utilizando agua de pozo con esta cantidad de agua se estima 144000 m³ de agua consumida en todo el año.

Como en Lima, se despacharon unos 3.7 millones m³ de concreto premezclado durante 2017, se puede deducir que se generaron unos 400 a 500 m³/día de residuos líquidos fruto del lavado de los camiones.

Cabe remarcar, entonces, los riesgos de contaminación de la napa cuando ella es altamente vulnerable y no se toman las providencias de impermeabilizar el terreno donde se instalan las piscinas de decantación o cualquier otro proceso de tratamiento de las aguas.

2.5.2. Sistema de lavado de camiones de mezcladoras

Las compañías de concreto premezclado tienen la necesidad de lavar sus camiones después de entregar su producto a sus clientes y para este proceso tienen un sistema de pozas de lavado que las ubican en sus plantas de producción. En este proceso se identificó la oportunidad de aprovechar el agua del lavado de camiones de mezclado para el uso en la producción de concreto. Por ejemplo la empresa de premezclado de UNICON (la empresa líder del mercado de premezclado en el Perú) en su Reporte de Sostenibilidad (2017) estima el uso del agua en este proceso de la siguiente manera:

“Este proceso demanda de un consumo importante de agua, ya que estas pozas requieren de 1,500 a 2,000 lts., y el lavado de un mixer por cada suministro de concreto a obra demanda de 200 a 300 lts.”

Este proceso tiene muchas ventajas para la gestión de este recurso natural, ya que el agua, utilizada en el lavado de camiones de mezclado, mediante procesos de tratamiento se reutiliza en distintos procesos en la planta de producción y esto tiene muchos aspectos positivos en la industria del premezclado. Las ventajas más significativas se pueden notar en el reusó del agua para el lavado de camiones, reducir el

consumo de agua nueva, eliminación de aguas residuales, minimización de volumen de lodo y otras ventajas externas que tiene este proceso.

En la Figura 9 se muestra el proceso de lavado de mixers convencional en una empresa de premezclado.

Figura 9. Aprovechamiento de agua de lavado de mixers para el proceso de producción de concreto
Nota. Recuperado del Reporte de Sostenibilidad de Unicon (2014)

Los principales beneficios de este sistema son los siguientes:

- Cero vertimientos de agua
- Cero residuos líquidos
- Sustitución de agua para proceso de producción entre 20% y 35%
- Reducción de emisores por menor frecuencia de transporte de agua y residuos
- Eficiencia en el consumo de recursos hídricos
- Más agua para la comunidad

2.5.3. Reducción de la huella hídrica con recirculación de agua

Las empresas concreteras en nuestro país han adoptado el proceso de recirculación de agua para reutilizarla en un nuevo proceso de lavado o en producción de concreto, con este método el consumo de agua de pozo disminuye en gran proporción, ya que se reusa el 100% del agua de lavado de camiones y minimizas la cantidad de aguas residuales que genera esta actividad, pero de igual manera estos líquidos al perder sus propiedades para el lavado después una cantidad de usos, son desechados como aguas residuales. Además, durante estos últimos años las empresas fueron optimizando este

proceso para su mejor desarrollo sostenible durante el tiempo y generando valor a su empresa concretera.

La huella hídrica con este proceso disminuyo en gran proporción con respecto a la de los años pasados en la industria del premezclado. Además, existen distintas organizaciones que velan por la conservación de la naturaleza y del medio ambiente, que en la actualidad tomaron mayor fuerza en la huella hídrica, entre ella sobresale UICN que en todo el mundo ya firmo algunos acuerdos con empresas de este rubro industrial para la reducción de su huella hídrica.

2.6. Problemática sobre la disposición de mermas

Las empresas de premezclado en el Perú tienen un gran problema con la disposición de mermas, debido a los grandes volúmenes de estos y al poco espacio legal que existe para estos desechos. El Perú actualmente produce aproximadamente 5 millones de metros cúbicos de concreto anualmente, de los cuales el 3-5% se convierten en desechos de dicha industria. Este porcentaje equivale a 250 mil metros cúbicos, lo cual es demasiado desecho de un producto que es altamente dañino para el medio ambiente. Además, el valor de esos desechos asciende a 20 millones de dólares aproximadamente, que se convierte en desecho sin generar ningún valor económico. Las empresas dedicadas a este rubro le toman muy poca importancia a este proceso, debido a que no genera ningún valor económico directo a su empresa, por el contrario le genera una perdida, ya que invierten en maquinaria especial para la eliminación de estos desechos. La optimización del proceso de limpieza podría generar un ingreso adicional a estas empresas, ya que podrían reducir su consumo de agua y agregados, generando una reducción de su presupuesto por metro cubico de concreto producido.

2.7. Alternativas de optimización de mermas

Para este análisis, se investigó nuevas alternativas de solución a este problema, estas pueden ser mecánicas o químicas, según su clasificación. Actualmente, las empresas líderes del mercado peruano no se tiene una alternativa para reutilizar estas mermas, solo mejoran su cifra de cantidad de merma triturando concreto ya endurecido, para generar agregados que ingresaran en una nueva producción de concreto premezclado. Esta actividad reduce su cantidad de merma de concreto, pero existe un gran porcentaje de mermas que no tiene las características para este proceso y para ello se pueden utilizar otras alternativas como son los productos químicos que contienen floculantes.

En la Figura 10 se observa el proceso de floculación, el cual es un proceso químico donde los floculantes ocasionan que las sustancias coloidales se aglutinen facilitando su decantación. Con este método se optimizara la sedimentación en las pozas de desecho en las plantas de concreto premezclado. Existen una variedad de productos de este tipo los cuales se emplearán para el desarrollo de esta tesis y se analizarán para su elección en el capítulo 3.

Figura 10. Proceso de Floculación

Nota. Recuperado de Yolanda Andía Cárdenas (2000), Investigación de *Tratamiento de Agua: Coagulación y Floculación* (p. 50).

3. CAPÍTULO III: MÉTODO DE REUTILIZACIÓN DE AGUA

El agua utilizada en la elaboración del concreto debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancia como ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas. Asimismo este insumo es una materia perecedera, y las industrias de premezclado buscan alternativas de solución ante una escasez de agua, su proceso de fabricación de concreto no pare. Por ello en este tercer capítulo de nuestra investigación indicaremos los resultados obtenidos del análisis químico del agua a tratar y determinaremos el producto floculante a utilizar como método de reutilización del agua proveniente de las mermas de concreto mediante ensayo de prueba de jarras que determinará su tiempo de reacción y dosificación, asimismo consideramos el costo del producto y adquisición. Posteriormente, se explica la implementación del producto en una planta de concreto premezclado, a fin de obtener la dosificación exacta que ingresará a tratar. Al finalizar este capítulo indicamos los análisis físicos - químicos realizados al agua tratada de acuerdo a la norma NTP 399.088 y analizamos los resultados obtenidos.

3.1. Análisis del agua a tratar

Para poder determinar el producto a utilizar para la reutilización del agua de las mermas de concreto acumuladas en pozas, se realizó el análisis químico de este tipo de agua que se obtuvo de la poza final del sistema de decantación.

En la Figura 11 se observa dicha fuente de recolección de muestra, a fin de evaluar la calidad y determinar los tipos de metales que contiene.

Figura 11. Toma de muestra del agua de la poza final del sistema convencional
Nota. Elaboración propia

Con esta información recopilada, luego del análisis, se puede elegir el producto óptimo que nos beneficie en cumplir el objetivo de clarificar el agua y obtener un ph similar al del agua de producción utilizada en las plantas de concreto premezclado. Este análisis se desarrolló en el laboratorio de la Universidad Agraria de La Molina y se realizaron los ensayos para la determinación de la cantidad de cloruros, sólidos totales, alcalinidad, sulfatos y ph que contiene el agua a tratar de acuerdo a la norma NTP 339.088, dicho informe se puede apreciar en el Anexo 1.

A continuación, en la Tabla 6 se compara los resultados obtenidos con los valores límites permisibles indicados en la norma para el agua de mezcla.

Tabla 6. Comparación de resultados obtenidos del análisis del agua a tratar y los límites permisibles para el agua de mezcla de la norma NTP 339.088

	Insumo	CL (mg/L)	SO (mg/L)	pH	Sólidos Totales	Alcalinidad mg CO
Resultados obtenidos	Agua a tratar	1565.33	1339.61	12.92	7100	87.62
Limite permisible NTP 339.088	Agua de mezcla para concreto	1000 máximo	3000 máximo	5 min	50,000 máximo	600 máximo

Nota. Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 6 se puede verificar que el agua a tratar presenta gran cantidad de cloruros que supera el límite permisible de la norma. Asimismo el pH obtenido cumple con el valor mínimo indicado en la norma; sin embargo, este valor indica una alcalinidad elevada. Por ello el producto a utilizar deberá contribuir en la reducción del pH y contenido de cloruros.

3.2. Elección del floculante

Conforme a los resultados obtenidos se investigaron productos floculantes que reduzcan el pH y contenido de cloruros, para ello se realizaron visitas a diferentes empresas entre ellas Química Suiza Industrial (QSI) y Arenas S.R.L, la cuales nos recomendaron conforme a la problemática los siguientes productos:

- **AR-3029:**

Este producto del mercado nacional, brinda la clarificación del agua, reduce el contenido de cloruros y elimina la turbidez, este último beneficia a la reducción de Ph. Asimismo el costo de este producto es de \$4.90 x Kg, que comparado con otros productos es el de menor costo y fácil adquisición. Las presentaciones de este producto son en bolsa de 25 Kg.

- **Eco Quick Gel:**

Este producto encapsula los metales pesados y evita que la lechada emulsione, por lo que al aplicarlo en la pasta de concreto ayudará a solidificar el cementante separándolo del agua permitiendo su fácil reutilización, asimismo contribuirá en

la reducción del pH. Las presentaciones de este producto son en bolsa de 23 Kg. y balde de 40 kg.

- **pH-:**

La principal función de este producto es la disminución del pH situándolo entre 7.2 y 7.6. La presentación de este producto a diferencia de los dos anteriores es en galonera de 5lts.

Para la elección del producto floculante se realizó el ensayo de prueba de jarras a fin de conocer el tiempo de sedimentación de los productos utilizando la misma dosificación en el agua a tratar, para ello se utilizó 2ml de los productos en 1lt de agua a tratar, posteriormente se agitó la mezcla en cada vaso durante 1 min a una velocidad de 60 a 80 rpm y se anotó el tiempo transcurrido desde el período de agitación hasta que el floculo se sedimentó en el fondo del vaso.

En la Figura 12 se visualiza la comparación de sedimentación conforme a la prueba realizada.

Figura 12. Comparación de sedimentación utilizando 2ml de las alternativas de productos floculantes en el agua a tratar

Nota. Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 7, se presenta un resumen comparativo de los factores evaluados (presentación, precio unitario y tiempo de sedimentación) para elegir el producto floculante a utilizar en el agua a tratar.

Tabla 7. Comparación de dosificación, precio unitario y tiempo de sedimentación entre las alternativas de productos floculantes.

Reactivo a evaluar	AR -3029	Eco – Quick gel	pH-
Productos floculantes	AR-3029®
Presentación	Bolsa de 25 Kg	Bolsa de 23 Kg	Galonera 5Lts.
Precio Unitario	\$ 4.90 / kg	\$ 8 / kg	\$ 16
Tiempo de sedimentación	3 min	5 min	6 min

Nota. Elaboración propia

De acuerdo a los datos obtenidos de la anterior tabla, se eligió el producto AR – 3029 , debido a la rápida adquisición del producto nacional, también ofrece un menor tiempo de sedimentación; es decir, rápida obtención del agua tratada. Este tipo de agua obtenido fue enviado a realizar un análisis químico, a fin de verificar la obtención de un valor menor de cloruros y pH. En el Anexo 1 se puede observar los valores obtenidos en el análisis del agua realizado en la UNAM.

En la Tabla 8 se presenta un comparativo de los resultados obtenidos con los valores límites permisibles indicados en la norma para el agua de mezcla.

Tabla 8. Comparación de resultados obtenidos del análisis del agua tratada con el floculante elegido y los límites permisibles para el agua de mezcla de la norma NTP 339.088

	Insumo	CL (mg/L)	SO (mg/L)	pH	Sólidos Totales	Alcalinidad mg CO
Resultados obtenidos	Agua a tratar	998,9	1339.61	10	7100	87.62
Limite permisible NTP 339.088	Agua de mezcla para concreto	1000 máximo	3000 máximo	5 min	50,000 máximo	600 máximo

Nota. Elaboración propia

3.3. Prueba preliminares para determinar la dosificación a utilizar en el concreto de mayor producción

Después de haber realizado un análisis comparativo entre diferentes productos floculantes, se definió en usar el producto floculante de la empresa Arenas SAC, cuya ficha técnica del producto se observa en el Anexo 2.

En esta nueva etapa se debe determinar la dosificación exacta del producto floculante, para ello se realizó la prueba de jarras, el cual es un procedimiento que se realiza en laboratorio para determinar las dosis más efectivas de floculante para un tipo de agua específica, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Este método ayudará a simular el proceso de floculación que realiza la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor. Asimismo, se puede utilizar este método con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros, pero en este caso se realizó la prueba con 3 vasos.

El procedimiento para llevar a cabo la prueba con el floculante elegido es el siguiente:

1. Se diluyó el producto floculante para obtener el concentrado de este de manera líquida, por la recomendación del proveedor de este producto para que no se formen grumos. El concentrado se realizó al 5% en agua convencional, es decir 5 gramos de producto en un litro de agua, y de esta manera se obtuvo el floculante de manera líquida.
2. Se colocó en cada vaso exactamente 0.500 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra del agua de lavado acumulado en las pozas.
3. Se procedió anotar en la hoja de datos la cantidad de floculante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, se añadió el floculante en cantidades creciente en vasos sucesivos. Por ejemplo: 2 ml/l en el vaso #1, 4 ml/l en el vaso #2, etc.
5. Se agitó la mezcla en cada vaso durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm
6. Se anotó cuánto tiempo transcurre antes de que empiece a formar un flóculo.
7. Una vez que transcurre el período de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
8. Después de permitir que el floculo se asiente durante 4 min, se determinó el color, turbiedad y el pH, este último se determinó con el papel indicador de pH, como se puede apreciar en la Figura 13.

Figura 13. Resultado obtenido de Ph del agua tratada

Nota. Elaboración propia

9. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flósculos y análisis del sobrenadante.
10. Finalmente, se obtuvo una dosificación de 2 ml/ l del producto floculante, tal como se observa en la Figura 14, este dato se utilizará para realizar la prueba industrial en la planta

Figura 14. Resultado de dosificación del floculante elegido

Nota. Elaboración propia

3.4. Pruebas industriales para ajuste de dosificación

Para esta etapa se tomó como dato principal la dosificación exacta calculada en laboratorio. Con este dato, se procedió a realizar la prueba en planta. A continuación, se explicará el procedimiento que se realizó en la industria de premezclado.

1. Se procedió a pesar la cantidad calculada del producto floculante elegido, como se puede apreciar en la Figura 15

Figura 15. Pesaje del producto floculante elegido

Nota. Elaboración propia

2. Luego, se procedió a llenar un bidón de 50 galones con agua, para posteriormente realizar la mezcla con el producto floculante elegido, tal como se observa en la Figura 16

Figura 16. Llenado de agua en el bidón donde se realizará la mezcla con el producto floculante

Nota. Elaboración propia

3. Posteriormente se añadió el floculante elegido en el bidón llenado con agua y se procedió a realizar la mezcla, aproximadamente unos 10 min, tal como se observa en la Figura 17.

Figura 17. Llenado de agua en el bidón donde se realizará la mezcla con el producto floculante

Nota. Elaboración propia

4. Posteriormente, con ayuda de una bomba, se direccionó la mezcla a la lavadora de agregados a través de una tubería, como se aprecia en la Figura 18.

Figura 18. Bomba utilizada para el ingreso de la mezcla a la tolva

Nota. Elaboración propia

5. A través de las tuberías se pudo realizar el ingreso de la mezcla del producto flocculante con el agua al interior de la tolva de la lavadora de agregados, tal como se observa en la Figura 19.

Figura 19. Ingreso de mezcla a la tolva de la lavadora de agregados
Nota. Elaboración propia

6. Esta mezcla, ya dentro de la lavadora, a través de un orificio se dirige hacia el tornillo sinfín donde se realiza la mezcla de producto con agua y la pasta del concreto devuelto a planta.
7. Pasaron 5 min y el agua a tratar empezó a clarificarse en la parte superior. Asimismo, los finos recuperados se almacenaron en la parte inferior de la poza como se aprecia en la Figura 20

Figura 20. Clarificación del agua en la tolva con el tornillo sinfín

Nota. Elaboración propia

8. Luego, la lavadora de agregados permitió recuperar y lavar los agregados.
9. Finalmente, el agua clarificada se pudo recuperar en las pozas de lavado y se procedió a tomar muestra para el posterior análisis en laboratorio.
10. Los datos que nos proporcionó la prueba industrial son los siguientes:
 - El porcentaje de agua recuperada del concreto hasta el momento donde se contabilizo es mayor al 50%, ya que el camión de concreto evaluado retornaba a planta con aproximadamente 250 litros de concreto y el indicador del volumen de agua en la poza indicaba un adicional de 25 litros de agua.
 - La cantidad de floculante que se necesita para 1m^3 de lodo es de 2 litros de concentrado de floculante o 10 gramos de floculante en polvo, por lo cual por cada camión mixer de 7m^3 de concreto, que aproximadamente regresa a planta con 350 litros de concreto y se le adiciona 250 litros de agua para su lavado se necesita un total de 6 gramos de floculante.

- El resto de elementos del concreto se evidencio que se encontraba con menor contenido de humedad posterior a la prueba.
- El tiempo de lavado del mixer fue de menos de 5 minutos, ya que la cantidad de agua que ingreso fue menor y el proceso fue mucho más rápido y con solo un operario.
- Se observó que las mezcladoras no realizan el sobre esfuerzo anterior ya que el agua contiene menos cantidad de sólidos.

3.5. Análisis físico y químico del agua recuperada

El análisis físico – químico se realizó de acuerdo a la norma NTP 399.088 en la cual indican los parámetros de análisis y los diferentes limites que debe cumplir el agua que se usa en concreto. Los parámetros que se evaluaron fueron los siguientes:

Cloruros

Los iones cloruros realizan un efecto adverso en contra de la armadura, es decir los refuerzos, este efecto es conocido como corrosión. Debido a este efecto se debe controlar la cantidad de partículas de cloruros en el agua empleada para la preparación de concreto. Estas partículas atacan la capa de óxido que protege el acero de refuerzo de las estructuras de concreto armado.

El nivel de iones cloruros solubles en ácido, en el cual la corrosión empieza en el hormigón, es aproximadamente del 0.2 a 0.4 % en peso de cemento (0.15 % al 0.3 % soluble en agua). (Carrasco, 2013)

Carbonato alcalino y bicarbonato

Las partículas de álcalis (carbonatos y bicarbonatos de sodio) tienen efectos negativos a sobre el tiempo de fraguado. Estas partículas agilizan el proceso de fraguado y en el caso de bicarbonato podría retardar este proceso. Además, se sabe que estas sales en grandes cantidades disminuyen la resistencia del concreto. También se debe considerar la posibilidad de la ocurrencia de reacciones álcali-agregado.

Sulfatos

La preocupación respecto del alto contenido de sulfatos en el agua usada para la preparación del hormigón se debe a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el hormigón será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos.

Partículas en suspensión

La cantidad de partículas en suspensión afectan las propiedades de algunos

concretos, entre ellas la contracción por secado, tiempo de fraguado, durabilidad y eflorescencia. Estas partículas no afectan directamente a la resistencia del concreto, pero en grandes cantidades no resulta beneficioso para el concreto. Para el uso de agua reciclada se debe utilizar un proceso de filtración o sedimentación.

Aguas ácidas

El agua utilizada para la elaboración de concreto premezclado no debe ser acida, debido a que afecta de manera directa a la resistencia del concreto. El Ph según las normas peruanas e internacionales debería encontrarse entre 6 y 8 para que sea apta para la elaboración de concreto. Los Ph menores que 6 se consideran perjudiciales para la resistencia del concreto.

Aguas alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio superiores al 0.5 % en peso de cemento pueden reducir la resistencia del concreto. El hidróxido de calcio en concentraciones de hasta 1.2% en peso de cemento tiene poco efecto sobre la resistencia del concreto con algunos tipos de cemento, pero esto debe ser evaluado en cada caso. Se debe considerar la posibilidad del aumento de la reactividad álcali-agregado.

Toma de muestras

Las muestras deben ser representativas del agua tal como se va a emplear. Se debe tener presente que una sola muestra de agua, tomada de un determinado lugar, puede no ser representativa, si existen variaciones de la composición en función del tiempo, como consecuencia de una variación de las condiciones climáticas, variaciones estacionales, influencia de las mareas o por otros motivos. Cuando se producen variaciones de composición, como consecuencia de lo antes citado, es necesario tomar muestras periódicas a distintas horas del día y en días distintos. Es muy importante el conocimiento local de las fuentes, especialmente en los casos en que, por tratarse de una zona industrial, exista la posibilidad de modificación de la composición.

El agua que se tomó de muestra de las plantas de concreto premezclado fue recaudada de acuerdo a las especificaciones antes mencionadas. La muestra fue extraída del agua tratada con floculante de la cual se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de los ensayos físicos-químico del agua combinada

Resultados de los ensayos físico – químicos del agua		
Parámetros	Unidades	Resultados
pH(*)	-	12.92
Alcalinidad total	mg/L	87.62
Cloruro soluble	mg/L	1565
Sulfato soluble	mg/L	1339.61
Álcalis (Na ₂ O + K ₂ O)	mg/L	423.56
Sólidos totales	mg/L	7100

Nota. Recuperado del Informe de Laboratorio de suelo y agua UNALM

El agua combinada cumple con los parámetros que indica la norma, a acepción del contenido de cloruros, lo cual se decidió mezclar esta agua con agua convencional en porcentajes iguales, es decir 50% de agua después del proceso propuesto y 50% de agua convencional. Con esta combinación el agua para el uso de concreto se encuentra dentro de los límites que indica la norma.

4. CAPÍTULO IV: PROPUESTAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN MEZCLAS DE CONCRETO CONVENCIONALES

En este cuarto capítulo de nuestra tesis ejecutaremos ensayos a los diferentes agregados que se utilizarán para la elaboración del concreto y se validará con las características que deben cumplir estos materiales para que sean permisibles para nuestra mezcla de concreto. Se propondrá la reutilización de agua en diferentes diseños de concreto (diseños por el método del ACI, diseños de mayor producción en plantas de concreto premezclado y diseños con diferentes proporciones de agua tratada), para de esta manera obtener las características del concreto en estado fresco y endurecido, mediante ensayos normados que se le efectuarán a estos concretos.

4.1. Características de agregados para diseños

Los agregados son uno de los principales materiales para la elaboración de concreto y como tal tiene características que deben cumplir con las normas. Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto, e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Pero hay algunos otros agregados, que presenten elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente. Por ello se tienen normas con diferentes ensayos en los cuales se aseguran que el agregado se encuentre con las características permisibles para el uso en concreto. Los ensayos que se realizan a los agregados son los siguientes:

- Abrasión ASTM C131 / NTP 400.019 - 400.020
- Azul de Metileno ASTM C837
- Cloruros solubles NTP 400.042
- Inalterabilidad por medio de Sulfato de Magnesio ASTM C88 / NTP 400.016
- Equivalente de arena ASTM D2419 / NTP 339.146
- Granulometría ASTM C136 / NTP 400.037
- Humedad ASTM C566 / NTP 339.185
- Impurezas orgánicas ASTM C40 / NTP 400.013

- Malla 200 ASTM C117 / NTP 400.018
- Partículas chatas y alargadas ASTM D4791 / NTP 400.040
- Partículas Friables y Terrones de Arcilla ASTM C142 / NTP 400.015
- Partículas Ligeras ASTM C123 / NTP 400.023
- Peso Específico y Absorción ASTM C127 - C128 / NTP 400.021 - 400.022
- Peso Unitario ASTM C29 / NTP 400.017
- Sales solubles totales ASTM C114 / NTP 400.042
- Sulfatos solubles
- Muestreo in-situ de material de cantera ASTM D75 / NTP 400.010
- Índice de Alargamiento NTP 400.039
- Detección de reacción potencial de Álcali - Sílice (método de la barra de mortero) ASTM C1260

Para nuestra tesis se decidió efectuar los ensayos más relevantes para el diseño de concreto. Los análisis de agregado se realizaron en un laboratorio con los equipos detallados en las normas de ensayos de agregados para el uso en concreto, estos equipos se encontraban en el rango de fechas de calibración. Se analizaron los cinco posibles agregados que se pueden utilizar para la elaboración de concreto premezclado, con el objetivo de conocer sus características de peso específico, porcentaje de humedad, porcentaje de absorción y módulo de fineza. Estas características analizadas serán utilizadas para el diseño de concreto y su corrección de cantidad de agua.

En la Tabla 10 se muestran los parámetros que se analizaron de los agregados para cada muestra de estos.

Tabla 10. Características de los posibles agregados a utilizar en el diseño de mezcla

Características de los agregados						
	Agregado Grueso	Agregado Fino	Piedra 57	Piedra 67	Arena	Unidades
P.E.	2.79	2.79	2.715	2.689	2.617	ton/m ³
%HUME	0.33	0.92	7.82	6.62	9.38	%
ABSOR	1.10	0.44	0.085	1.05	1.90	%
M Fineza	-	3.36	-	-	2.90	-
TMN	1/2"	-	-	-	-	-
PUC	1610.16	-	-	-	-	kg/m ³

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a los parámetros establecidos en las normas especificadas, los valores resultantes se encuentran dentro o cercanos de los permisibles, debido a lo cual los agregados son aptos para la elaboración de concreto.

4.2. Diseño de concreto

Diseño Inicial

El método de diseño de mezcla que se utilizara será el indicado en American Concrete Institute (ACI) 211.1, Práctica recomendada para seleccionar el proporcionamiento de concreto normal, pesado y masivo. El método ACI contiene algunas deficiencias, ya que este métodos es general y no toma en cuenta el tipo de agregado según su tamizaje por ello tiende a producir concretos pedregosos, ello se revisó en American Concrete Institute (2005).

Este método de diseño economiza agua y cemento, por lo que no es el más usado para la industria del premezclado, pero decidimos utilizarlo como un diseño inicial para observar la diferencia entre las características de estos concretos.

Existen correcciones a este diseño que nos permite tener un concreto de mejores características en estado fresco, ya que normalmente este método nos da mezclas más secas de lo previsto, segregadas, pedregosas u otras deficiencias que generalmente son a causa de que en el medio no se cuenta con agregado que cumplan totalmente las normas, no se encuentren limpios o su tamizado no sea exactamente el idóneo a la norma, por ello se realizan las siguientes correcciones:

- Corrección de cantidad de agua: Se toma en cuenta la absorción y humedad de los agregados para modificar la cantidad de agua con el fin de no afectar al momento de la mezcla la relación agua/cemento.
- Corrección de agregado: normalmente el agregado grueso y fino deben ingresar a un concreto idóneo en similares cantidades, por ello se realiza la corrección entre 5% y 10% de agregado grueso y se compensa con agregado fino, de tal manera que se obtiene cantidades similares de estos.

Debido a estas deficiencias en este método de diseño se decidió utilizar la cantidad de agua y cemento del método ACI, pero en cuanto a los agregados, se decidió utilizar el 49% de grava y el 51% de agregado fino, para equilibrar la cantidad de estos materiales y generar un concreto óptimo en cuanto a características en fresco.

Dentro del diseño de mezcla se decidió utilizar un aditivo plastificante y retardante, el cual es utilizado en su gran mayoría por las empresas de concreto premezclado, para obtener un concreto con una trabajabilidad mayor y que sea lo más semejante al concreto premezclado. Además, se corrigieron la cantidad de agua según absorción y contenido de humedad para no tener pérdidas de resistencia del concreto por mayor cantidad de agua. Al finalizar el cálculo de las cantidades se obtuvo la dosificación que se presenta en la Tabla 11 con sus respectivas unidades y cantidades para 1 metro cubico y 35 litros.

Tabla 11. Dosificación del diseño de mezcla corregido para 1m³ y para 35 litros

Diseño de mezcla		
Insumos	1 m³	35 lt
Cemento	407 kg	14.25 kg
Agua	234 lt	8.19 lt
Aditivo	2.64 kg	0.09 lt
Arena	842 kg	29.47 kg
Piedra	779 kg	27.26 kg

Nota. Elaboración propia

Posterior a la dosificación del diseño se realizó el pesaje de los insumos y la distribución de estos en baldes, tal como se observa en la siguiente Figura 21.

Figura 21. Pesaje de los insumos para la elaboración de los diseños de concreto
Nota. Elaboración propia

En la Figura 22 se puede observar que luego de organizar los insumos en baldes en el patio del laboratorio, se dio inició a la adición de todos ellos para la elaboración del concreto en el trompo mezclador.

Figura 22. Ingreso de insumos al trompo mezclador
Nota. Elaboración propia

Con esta dosis se prepararon 2 tipos de concreto, la primera muestra, tal como se observa en la Figura 23, se elaboró con agua convencional; es decir, con el agua que ha pasado por ningún tratamiento.

Figura 23. Muestra de concreto con agua convencional

Nota. Elaboración propia

Por otro lado en la Figura 24, se observa la segunda muestra de concreto elaborada con agua tratada; es decir, el agua que fue tratada con productos floclulantes.

Figura 24. Muestra de concreto con agua combinada

Nota. Elaboración propia

Se prepararon estos tipos de concreto con el fin de comparar sus características y observar la influencia del cambio de agua en la trabajabilidad y durabilidad del concreto.

Diseños de mayor demanda

Con el propósito de generar mayores alcances en cuanto a tipos de concretos que se puedan elaborar con el agua tratada se decidió recurrir a los diseños más usados por las diferentes empresas de concretos premezclados, los cuales fueron seleccionados con referencia a la cantidad de demanda que se tiene de estos tipos de diseños por volumen. Los diseños seleccionados son los que las plantas de concreto premezclado de diferentes empresas del Perú producen en mayor cantidad, debido a la demanda de estos diseños por las obras de acuerdo con sus especificaciones del proyecto.

El concreto más usado es el concreto con resistencia de 210kg/cm^2 con un slump de 4-6 pulgadas y piedra 57, el siguiente concreto es el de 280kg/cm^2 con un slump de 4-6 pulgadas y piedra 57 y por último el concreto 350kg/cm^2 con un slump de 4-6 pulgadas y piedra 57.

En la Tabla 12 se presenta los diseños de mayor demanda que utilizan diferentes plantas de concreto premezclado, juntamente con los diseños variados con la cantidad de agua tratada en las proporciones indicadas.

Tabla 12. Diseños de mayor demanda con agua convencional y con agua tratada

DISEÑOS DE MAYOR DEMANDA		DISEÑO PATRON	DISEÑO-50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO-50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO-50% Agua de producción / 50% Agua reciclada
		1210N57B		1280N57B		1350N57B	
Insumos	UNID.	Corregido	Corregido	Corregido	Corregido	Corregido	Corregido
Cemento T-I	Kg.	255.0	255.0	315	315	362	362
Filler	Kg.	45.0	45.0	56	56	56	56
Agua	Lts.	195.0	97.5	197	98.5	209	104.5
Agua reutilizada	Lts.	-	97.5	-	98.5	-	104.5
Arena	Kg.	1050.0	1050.0	1071.47	1071.47	923	923
Piedra 67	Kg.	558.7	558.7	399.84	399.84	541	541
Piedra 57		372.3	372.3	487.2	487.2		0
MasterSet R 800	Lts.	0.73	0.73	0.37	0.37	1.27	1.27
MasterRheobuild 2015	Lts.	2.19	2.19	3.84	3.84	3.26	3.26
CARACTERISTICAS DE DISEÑO							
Relación a/c	-	0.76		0.63		0.58	
Relación a/mc	-	0.76		0.53		0.50	
Filler	%	15%		15%		13%	
Incidencia arena/ piedra	%	1.13		1.21		1.71	
%de humedad de arena	%	7.89		2		2	
Hora de vaciado	hh:mm	12:50:00	13:41:00	17:05:00	17:40:00	17:05:00	17:40:00
MasterSet R 800	cc	2.9	2.9	1.2	1.2	3.5	3.5
MasterRheobuild 1202	cc	9	9	12	12	9	9

Nota. Elaboración propia

Los diseños de estas características se utilizarán con agua convencional y agua combinada en proporciones de ensayos para medir la diferencia de efectos en características frescas y endurecidas del concreto, con ello se pretende evaluar qué características resaltan o disminuyen con el uso del agua combinada que se extrae del proceso de lavado de mixers con floculantes.

Diseños en diferentes proporciones de agua

Con el propósito de evaluar qué cantidad de agua combinada se debe utilizar para llegar a características óptimas o incrementar alguna de ellas, se procederá a realizar ensayos con diferentes proporciones de agua combinada, entre ellas 50%-50%, 100%-0% y 25%-75%, de esta manera se podrá asegurar si el agua combinada en mayores proporciones afecta alguna de las características frescas o endurecida del concreto. Esta evaluación se realizará para un diseño de mezcla de 280kg/cm^2 con un slump de 4-6 pulgadas y piedra 57, que es uno de los diseños de mayor producción. Con el objetivo de homogeneizar los diseños se utilizarán los mismos agregados y cemento para todos los ensayos con la única variación de porcentaje de incidencia del agua combinada, pero sin variar la cantidad total de agua que ingresa a la mezcla.

Los diseños de estas características se utilizarán con agua convencional y agua combinada en proporciones de ensayos para medir la diferencia de efectos en características frescas y endurecidas del concreto, con ello se pretende evaluar qué características resaltan o disminuyen con el uso del agua combinada que se extrae del proceso de lavado de mixers con floculantes.

En la Tabla 13 se presenta los diseños en diferentes proporciones de agua combinada, pero de un solo diseño patrón, conjuntamente con los diseños variados con la cantidad de agua tratada en las proporciones indicadas.

Tabla 13. Diseños en diferentes proporciones con agua convencional y con agua tratada del diseño 1280N67B

DISEÑOS EN DIFERENTES PROPORCIONES		Diseño patrón - 100% Agua de producción	Diseño - 100% Agua tratada de poza de lavado N°1	Diseño - 100% Agua tratada de poza de lavado N°2	Diseño - 50% Agua de producción/ 50% Agua tratada poza de lavado N°1	Diseño - 50% Agua de producción/ 50% Agua tratada poza de lavado N°2	Diseño - 100% Agua de producción	Diseño - 75% Agua de producción/ 25% Agua tratada poza de lavado N°1	Diseño - 75% Agua de producción/ 25% Agua tratada poza de lavado N°2
		1280N67B							
Insumos	UNID	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio
Cemento T-I	Kg.	260	260	260	260	260	260	260	260
Filler	Kg.	46	46	46	46	46	46	46	46
Agua total	Lts.	190	-	-	98.5	98.5	200	150	150
Agua tratada	Lts.	-	197	197	98.5	98.5	-	50	50
Arena	Kg.	949	949	949	949	949	945	945	945
Piedra 67	Kg.	927	927	927	927	927	923	923	923
MasterSet R 800	Lts.	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
MasterRheobuild 2015	Lts.	2.30	2.30	2.3	2.3	2.3	3.06	3.06	3.06
CARACTERISTICAS DE DISEÑO									
Relación a/c	-	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77	0.77
Relación a/mc	-	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.65	0.65	0.65
Filler	%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Incidencia arena/ piedra	%	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
%de humedad de arena	%	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38	9.38
MasterSet R 800	cc	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
MasterRheobuild 1202	cc	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50

Nota. Elaboración propia

4.3. Evaluación de desempeño del agua recuperada en nuevas mezclas de concreto

En la evaluación del desempeño del concreto con agua combinada obtenida del proceso de limpieza de camiones de concreto se plantean ensayos a concreto fresco y concreto endurecido, de esta manera se analizará las diferencias que existen comparando las características de este concreto con las características de un concreto convencional.

En la Figura 25 se observa la densidad obtenida mediante un densímetro obteniendo como resultado 1.006 gr/cm^3 , dicho proceso se realizó previamente a la elaboración del concreto.

Figura 25. Medición de densidad del agua combinada con floculante
Nota. Elaboración propia

Este valor nos indica que el agua combinada con producto floculante presenta la densidad igual al agua líquida de 1 gr/cm^3 , esto significa que el agua combinada se encuentra libre de sustancias sólidas. Los ensayos que se desarrollaron fueron los principales que se le realizan al concreto y que se encuentran normados en las normas peruanas. Estos ensayos de desarrollarán con la ayuda de los técnicos del laboratorio de la casa de estudios de la tesis para los diseños iniciales que se elaboraron. Por otro lado, para los diseños de mayor demanda y en diferentes proporciones de agua se analizaron los mismos ensayos, pero

adicionando la caída de slump que es una de las necesidades primordiales de las empresas de concreto premezclado.

4.3.1. Ensayos en concreto fresco

Se desarrollaron los ensayos de slump, temperatura, peso específico y contenido de aire. Los cuales fueron desarrollados mediante lo indicado en cada una de las normas donde especifican los métodos de estos ensayos. El agua combinada fue utilizada en una proporción del 50% para la mezcla de concreto, el 50% restante de la proporción fue agua convencional. Este proceso se desarrolló para reducir las cantidades de partículas perjudiciales para el concreto que se obtuvo del análisis físico – químico y no pasar los límites que exige la norma de uso de agua reutilizable. Los agregados que se utilizaron fueron los convencionales, debido a que se desea observar las diferencias de características con respecto al agua. El diseño de mezcla fue realizado mediante el método del ACI. Las características de concreto fresco fueron medidas de acuerdo con las normas vigentes para el Perú.

- Determinación de la consistencia de una mezcla de concreto fresco mediante el cono de abrams- NORMAS: ASTM C-143
- Determinación del contenido de aire en el concreto fresco por el método de Presión NORMA ASTM C-231 / NORMA NTP 339.083.
- Determinación del Peso unitario del concreto fresco- NORMAS: ASTM C-138/ NTP 339.049
- Elaboración de Probetas cilíndricas normalizadas. NORMA ASTM C-31 / NORMA NTP 339.033
- Determinación de la Temperatura de una mezcla de concreto NORMA ASTM C-1064

Se aseguró que los equipos empleados se encuentren calibrados y en buen estado para asegurar la precisión de los resultados de los ensayos. Además, se contó con personal calificado para el desarrollo de los ensayos como lo indica la norma. Los resultados que se obtuvieron de los diseños indicados son los siguientes:

Para el diseño Inicial:

En la Tabla 14 se presenta los resultados de los ensayos de diseño inicial a concreto fresco para el agua convencional y agua combinada.

Tabla 14. Resultados de los ensayos de concreto fresco con agua combinada

Resultados de los ensayos de concreto fresco		
Ensayo	Concreto convencional	Concreto con agua combinada
Slump	7 3/4 pulg.	8 pulg.
Temperatura	23.7 °C	23.6 °C
Peso específico	2293.64 kg/m ³	2296.57 kg/m ³
Contenido de aire	3.5 %	3.4 %

Nota. Elaboración propia

El uso de agua combinada obtenida del proceso de limpieza de camiones de concreto no influyo en mucho a las características de concreto fresco comparado con la de un concreto convencional. El slump se encuentra por encima de lo diseñado y resulta tener un grado alto de trabajabilidad, debido al uso de aditivo plastificante. La temperatura y peso específico se encuentran dentro del rango normal de un concreto convencional para ambas muestras. El contenido de aire se encuentra por encima de lo propuesto en el diseño de mezcla, pero entre las muestras no existe una diferencia significativa.

Para diseños de mayor demanda:

En la Tabla 15 se presenta los resultados de los ensayos de concreto fresco para los diseños de mayor demanda que utilizan las plantas de concreto premezclado para el agua convencional y agua combinada de distintas resistencias.

Tabla 15. Resultados de temperatura, % de aire y pérdida de trabajabilidad de los diseños realizados

DISEÑOS DE MAYOR DEMANDA		DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada
		1210N57B		1280N57B		1350N57B	
CONTROL EN ESTADO FRESCO							
Temperatura Ambiente promedio	°C	20.3	21.8	17.9	17.8	18.6	18.6
Temperatura Concreto promedio	°C	20.8	22.5	20.3	20.1	20.2	19.6
% De aire atrapado	%	3	2.9	1.9	2	3.3	3.2
Pérdida de Trabajabilidad (Hrs.)		Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio
0:00:00	Pulg.	8 3/4	8 3/4	8 1/2	8 1/2	9 1/2	9
0:30:00	Pulg.	8 3/4	8 3/4	8 1/4	8 1/4	9	9
1:00:00	Pulg.	8 1/4	8	8 1/4	7 3/4	8	8 1/2
1:30:00	Pulg.	7 1/2	7 3/4	7 3/4	7 1/2	8	8 1/2
2:00:00	Pulg.	7	7 1/4	7 1/2	7 1/2	8	8
2:30:00	Pulg.	6 1/2	6 1/2	7 1/2	7 1/2	7 3/4	8

Nota. Elaboración propia

Los resultados en los ensayos de los diferentes diseños de mayor demanda para las plantas de concreto premezclado varían de forma mínima en estado fresco, es decir que su temperatura, % de aire atrapado y caída de slump son similares entre el concreto elaborado con agua de producción y el concreto con agua combinada.

Para diseños en diferentes proporciones de agua:

En la Tabla 16 se presenta los resultados de los ensayos de concreto fresco para los diseños en diferentes proporciones de agua tratada para el agua convencional y agua combinada para un concreto de 280kg/cm² con un slump de 4-6 pulgadas y piedra 57.

Tabla 16. Resultados de temperatura, % de aire y pérdida de trabajabilidad del diseño 1280N67B

DISEÑOS EN DIFERENTES PROPORCIONES		Diseño patrón - 100%Agua de producción	Diseño - 100% Agua tratada de poza de lavado N°1	Diseño - 100% Agua tratada de poza de lavado N°2	Diseño - 50% Agua de producción/50% Agua tratada poza de lavado N°1	Diseño - 50% Agua de producción/50% Agua tratada poza de lavado N°2	Diseño - 100% Agua de producción	Diseño - 75% Agua de producción/25% Agua tratada poza de lavado N°1	Diseño - 75% Agua de producción/25% Agua tratada poza de lavado N°2	
		1280N67B								
CONTROL EN ESTADO FRESCO										
Tem. Ambiente prom.	°C	19.70	19.80	19.80	19.80	19.70	20.10	19.90	19.80	
Tem. Concreto prom.	°C	20.70	21.20	20.60	20.50	20.70	20.30	20.60	21.00	
% De aire atrapado	%	1.90	2.90	2.00	2.70	2.20	1.70	1.40	1.60	
Pérdida de Trabajabilidad (Hrs.)		Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	
0:00:00	Pulg.	7 1/4	6 3/4	7	7 1/2	7 1/4	7 1/2	7 1/4	7	
0:30:00	Pulg.	4 1/2	4	4 1/4	4 3/4	4 1/2	5 1/4	5 1/2	4 3/4	
1:00:00	Pulg.	3 1/4	2 3/4	2 1/2	3	2 3/4	4	3 3/4	3	
1:30:00	Pulg.	2	1 1/2	1 1/4	1 3/4	1 1/2	3	3	2 1/4	
2:00:00	Pulg.	1 1/4	1	1	1 1/4	1 1/4	2	2 3/4	1 1/2	
2:30:00	Pulg.	0	0	0	0	0	0	2 1/4	0	

Nota. Elaboración propia

Los resultados en los ensayos de las diferentes proporciones de agua combinada en estado fresco tienden a ser similares en resultados, ya que la temperatura del concreto se mantiene en aproximadamente 20 °C, el porcentaje de aire atrapado varia pero no en proporciones considerables y la pérdida de trabajabilidad si varía en proporción a la cantidad de agua reutilizada que se usa para cada diseño.

4.3.2. Ensayos en concreto endurecido

Los ensayos de concreto endurecido se desarrollarán con las probetas que fueron fabricadas con agua combinada, estas se ensayaran en tres tiempos diferentes para observar el desarrollo de su resistencia según los días de fraguado. Las probetas fueron fabricadas según los estándares de la norma ASTM c31, en la cual indica el método para preparar y curar probetas de concreto. Se elaboraron seis unidades de probetas de 15cm de diámetro y 30 cm de altura, debido a la granulometría del agregado utilizado y al tamaño máximo nominal de agregado grueso. Así mismo, se elaboraron nueve probetas con concreto convencional, te tuvieron el mismo diseño de mezcla que las otras probetas, con la única diferencia que en estas se empleó 100% agua convencional para su elaboración

En la Figura 26 se observan las probetas que se elaboraron para los ensayos de concreto endurecido.

Figura 26. Preparado y desmolde de probetas de concreto con agua combinada.

Nota. Elaboración propia

Se ensayaron las probetas según la norma NTP339.034 la cual indica las consideraciones para los ensayos de resistencia a la compresión para concreto en estado endurecido. Los tiempos seleccionados para el desarrollo de dicho ensayo fueron de 7 días, 14 días y 28 días, para identificar la curva de desarrollo de resistencia de las muestras y comparar con la resistencia teórica de diseño a los 28 días. También, se comparará el desarrollo de la curva de resistencia del concreto convencional con el del concreto con agua combinada, para de esta manera observar el rendimiento de este tipo de agua tratada.

En la Figura 27 se observa la máquina de compresión y el tipo de falla normal que tienen las probetas elaboradas.

Figura 27. Ensayo de compresión de probeta de concreto con agua tratada

Nota. Elaboración propia

Las probetas fueron curadas según la norma mencionada, en una piscina de agua con cal. Se empleó para el ensayo de compresión una maquina hidráulica que fue manipulada por personal calificado como indica la norma ASTM C 1077. Los resultados de los ensayos a tracción fueron los siguientes:

Para el diseño Inicial:

En la Tabla 17 se presenta los resultados de ensayos de concreto endurecido del diseño inicial a los 7 días.

Tabla 17. Reporte de resistencia a los 7 días de concreto de agua combinada y convencional

Reporte de resistencia a los 7 días				
	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Fuerza (Lb)	Resistencia (kg/cm ²)
P3 – concreto convencional	15.23	30.25	105447	262.50
P4 – concreto convencional	15.31	30.15	105520	259.95
P5 – concreto convencional	15.29	30.40	103577	255.83
P6 – concreto agua tratada	15.26	30.35	106205	270.87
P7 – concreto agua tratada	15.29	30.25	110405	272.69

Nota. Elaboración propia

A los 7 días las probetas con agua combinada resultaron con mayor resistencia que las de concreto convencional. El concreto convencional resulto con una media de 259.43 kg/cm² y el concreto con el agua combinada resulto con una media de 271.78 kg/cm², lo cual genera un aumento de resistencia del 4.76% del concreto convencional.

En la Tabla 18 se presenta los resultados de ensayos de concreto endurecido del diseño inicial a los 28 días.

Tabla 18. Reporte de resistencia a los 28 días de concreto de agua combinada y convencional

Reporte de resistencia a los 28 días				
	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Fuerza (Lb)	Resistencia (kg/cm ²)
P3 – concreto convencional	15.26	30.35	105.71	260.54
P4 – concreto convencional	15.22	30.55	111263	277.35
P5 – concreto convencional	15.24	30.35	113737	282.76
P6 – concreto agua tratada	15.28	30.45	115034	284.50
P7 – concreto agua tratada	15.29	30.50	107837	289.35

Nota. Elaboración propia

A los 28 días las probetas con agua combinada resultaron con mayor resistencia que las probetas con concreto convencional. El concreto convencional resulto con una media de 273.55 kg/cm² y el concreto con el agua combinada resulto con una media de 286.93 kg/cm², lo cual genera un aumento de resistencia del 4.89% del concreto convencional.

Para diseños de mayor demanda:

Los resultados expresados en la Tabla 19, nos muestran que en el caso del concreto en estado endurecido si varía la resistencia en aproximadamente 5% en los diferentes diseños a 28 días. Además, se puede observar que las resistencias a los 3 días y 7 días no presentan mucha variación como la que se observa en la resistencia final después del periodo normado. Para el concreto con diseño de 210 kg/cm² la variación a favor del concreto con agua combinada es de 5.44%, llegando a una resistencia de 232.4kg/cm², mientras el concreto con agua convencional llega a un máximo de resistencia de 221kg/cm². También, el concreto con diseño 280kg/cm² tiene similar variación alcanzando 4.88% de mayor resistencia la mezcla elaborada con agua combinada. Por último, el concreto con diseño de 350kg/cm² genera un aumento de resistencia de 5.36% favoreciendo al concreto realizado con el agua combinada.

Para diseños en diferentes proporciones de agua:

Los resultados expresados en la Tabla 20, nos muestran que la evaluación del concreto en estado endurecido si varía la resistencia final de este para los diferentes casos de proporciones de agua reutilizada que se puede adicionar al diseño planteado. El aumento de resistencia del concreto cuando se utiliza el 100% de agua reutilizada varía entre 4.40% y 5.12%, por otro lado, cuando se utiliza el 50% de esta agua la variación es entre 5.48% y 5.12%, es decir similar al primer ensayo realizado. En los últimos casos donde se utilizó el 25% de agua reutilizada se tiene una disminución de resistencia entre 1.31% y 0.95%, lo cual nos indica que esta proporción es la menos eficiente de las ensayadas.

Tabla 19. Resultados de ensayos a concreto endurecido a para los diseños de mayor demanda en la industria del concreto premezclado

DISEÑOS DE MAYOR DEMANDA		DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada	DISEÑO PATRON	DISEÑO- 50% Agua de producción / 50% Agua reciclada
		1210N57B		1280N57B		1350N57B	
PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO - PROBETAS 4X8							
Edades de Ensayo (Días)	-	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio	Laboratorio
		2/07/2018		23/06/18		21/07/2018	
	3	146	145	158	149	152	154
		151	152	147	155	149	158
		156	158	148	146	155	163
	Prom.	151	151.7	151	150.0	152	158.3
	>50%	71.90%	72.22%	53.93%	53.57%	54.29%	56.55%
	7	201	193	201	193	258	264
		188	197	188	197	257	271
		190	202	190	202	255	267
	Prom.	193	197.3	193	197.3	256.7	267.3
	>80%	91.90%	93.97%	68.93%	70.48%	91.67%	95.48%
	28	220	228.75	294	305	360	371
		218	235.5	299	314	364	380
		225	233	296	311	354	372
	Prom.	221.0	232.4	296.3	310.0	359.3	374.3
	>100%	105.24%	110.67%	105.83%	110.71%	128.33%	133.69%
Diferencia de resistencias		5.44%		4.88%		5.36%	

Nota. Elaboración propia

Tabla 20. Resultados de ensayos a concreto endurecido de diseños con diferentes proporciones con agua convencional y con agua tratada

DISEÑOS EN DIFERENTES PROPORCIONES		Diseño patron - 100%Agua de producción	Diseño - 100% Agua tratada de poza N°1	Diseño - 100% Agua tratada de poza N°2	Diseño - 50% Agua de producción/50 % Agua tratada poza N°1	Diseño - 50% Agua de producción/50 % Agua tratada poza N°2	Diseño - 100% Agua de producción	Diseño - 75% Agua de producción/25 % Agua tratada poza N°1	Diseño - 75% Agua de producción/25 % Agua tratada poza N°2
		1280N67B							
PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO - PROBETAS 4X8 (RESISTENCIA)									
Edades de Ensayo (Días)	1	62	87	74	74	71	51	54	68
		68	82	76	80	68	60	52	61
		59	80	78	74	74	57	56	72
	Prom.	63	83.0	76	76.0	71	56.0	54.0	67.0
	>20%	22.50%	29.64%	27.14%	27.14%	25.36%	20.00%	19.29%	23.93%
	3	176	189	195	182	174	166	180	180
		170	184	202	183	176	169	183	176
		170	191	203	175	184	160	177	178
	Prom.	172	188.0	200	180.0	178.0	165.0	180.0	178.0
	>50%	61.43%	67.14%	71.43%	64.29%	63.57%	58.93%	64.29%	63.57%
	7	213	256	250	254	253	240	229	252
		215	250	251	249	249	243	232	259
		223	250	243	256	251	237	223	260
	Prom.	217	252.0	248	253.0	251.0	240.0	228.0	257.0
	>80%	77.50%	90.00%	88.57%	90.36%	89.64%	85.71%	81.43%	91.79%
	28	281	295	296	298	299	280	272	272
		278	296	299	294	293	283	274	279
		283	288	290	296	293	276	282	280
	Prom.	280.7	293.0	295.0	296.0	295.0	279.7	276.0	277.0
	>100%	100.24%	104.64%	105.36%	105.71%	105.36%	99.88%	98.57%	98.93%
Diferencia de resistencias			4.40%	5.12%	5.48%	5.12%		-1.31%	-0.95%

Nota. Elaboración Propia

4.3.3. Ensayos de durabilidad del concreto

Con el propósito de medir la durabilidad del concreto se utilizará el ensayo de medida de permeabilidad, esta es utilizada para proporcionar la calidad del concreto que se elaboró. Actualmente no existe una norma que esté totalmente aceptada para estos propósitos, por ello se propone utilizar con el método de Darcy que naturalmente se utiliza para medir la permeabilidad de los suelos, pero se puede utilizar de igual manera para el concreto y tener una referencia directa de la durabilidad del concreto, con referencia a las normas NTC 4483 y la norma EN 12390-8. Este método nos cuantificará la resistencia al ingreso del agua en el concreto mediante una presión constante por un tiempo determinado (72 horas), para luego ser partida la probeta mediante el ensayo brasileño y cuantificar la distancia que ingreso el agua en el concreto.

En la Figura 28, se puede observar que posterior al ensayo de permeabilidad se realizó la compresión de dichas probetas.

Figura 28. Ensayo de compresión de las probetas de 6x12

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 21 se observan los resultados de los ensayos de permeabilidad realizados en la cual se evidencia la diferencia mínima entre la permeabilidad del concreto, lo cual indica que la durabilidad de estos concretos será similar. El concreto que se realizó con el agua combinada, es decir que contiene floculante, posee mayor permeabilidad, ya que el ingreso de agua en el concreto es menor que el del agua con concreto convencional, pero la diferencia es mínima y se puede concluir que la permeabilidad es semejante entre los 2 tipos de concretos.

Tabla 21. Resultados de las pruebas de durabilidad con el método de permeabilidad.

Concreto elaborado con agua combinada (con floculante)
Permeabilidad	1 3/16	1 pulgada
Concreto elaborado con agua convencional
Permeabilidad	1 1/4	1 1/4 pulgada

Nota. Elaboración propia

4.4. Análisis de resultados del desempeño del agua tratada.

Los resultados de los análisis realizados al desempeño del agua en concreto fueron satisfactorios, tanto en concreto fresco como en concreto endurecido. Los ensayos realizados para evaluar este tipo de concreto manifestaron una similitud (en algunos ensayos) y mejora (en otros) comparado con el concreto convencional.

El análisis físico – químico del agua combinada indicó que los parámetros de sulfatos, sólidos totales y álcalis, se encuentran dentro de los límites de la norma NTP339.088, pero el parámetro de cloruros se encuentra ligeramente elevado y por ello es necesario la mezcla con agua convencional para reducir las partículas por millón que existe en esta agua.

Los ensayos realizados al concreto fresco mostraron una similitud de características con el concreto convencional en la mayoría de los parámetros evaluados. El parámetro que tuvo mayor diferencia fue el del Slump, el cual indicó una disparidad de 0.5 pulgadas, lo cual indica una mayor trabajabilidad para el concreto de agua combinada, es decir un beneficio que le da el agua combinada.

Los resultados de los ensayos de compresión de concreto en diferentes tiempos de vida se expresan en las siguientes figuras:

En la Figura 29 se observa las resistencias de los diseños iniciales y de los diseños de mayor demanda, expresados en curvas de resistencia según el tiempo de vida del concreto. Como se puede apreciar en la gráfica los concretos preparados con agua combinada resultaron con mayores resistencias a los concretos preparados con agua convencional, lo cual indica que incide notoriamente el uso de esta agua en un concreto en estado endurecido.

Figura 29. Desarrollo de resistencia según el tiempo de vida del concreto del diseño inicial y concreto de mayor demanda
Nota. Elaboración propia

En la Figura 30 se observa las resistencias de los diseños para diferentes proporciones de agua, expresados en curvas de resistencia según el tiempo de vida del concreto.

Figura 30. Desarrollo de resistencia según el tiempo de vida del concreto de los diseños para diferentes proporciones de agua.

Nota. Elaboración propia.

Los ensayos realizados al concreto endurecido generaron unos resultados de mayor diferencia. El agua combinada incremento la resistencia del concreto en un promedio de 5%, lo cual indica una mejora de esta característica del concreto, reforzando este porcentaje con los diferentes diseños que se realizaron de mayor demanda y en proporciones de agua, llegando hasta un máximo de 5.48%. La curva del desarrollo de la resistencia del concreto según el tiempo indica que durante todo el tiempo de madurez del concreto, este parámetro favoreció en resultado al agua combinada.

La durabilidad en los concretos evaluados con agua combinada y agua convencional resultan con una diferencia mínima favoreciendo en esta característica al diseño que se elaboró con el agua tratada, pero en pequeñas cantidades, lo cual no sería una diferencia de gran magnitud.

El incremento de la resistencia al utilizar agua combinada se puede inferir que la causal de tal reacción se deba al bajo contenido de sales álcalis en esta agua, ya que estudios previos resolvieron que el contenido de este tipo de sales reduce la resistencia a la compresión del concreto. Además, se puede deducir que es de gran beneficio para el concreto que el ph del agua combinada sea alcalina, ya que todo concreto posee por naturaleza un ph muy alcalino. También, se sabe que el floculante reduce la cantidad de sales inorgánicas, las cuales son dañinas para la resistencia del concreto, ya que los floculantes reaccionan de manera directa con los coloides (metales pesados como el cobre, estaño, cinc, plomo, etc), y las sales inorgánicas están compuestas en su mayoría de metales pesados como los antes mencionados.

Existen investigaciones realizadas para la reutilización de aguas negras tratadas en la producción de concreto, el cual resulto satisfactorio para algunos residuos de zonas de población. La prueba de compresión de este concreto con agua tratada resulto con hasta 10% de incremento de resistencia, lo cual es debido a los bajos contenidos de álcalis, según sus estudios, pero obtuvieron partículas de cloruros y sulfatos en cantidades mayores que las permitidas y esto generara un desgaste del concreto en menor tiempo. A comparación de la propuesta mediante floculantes que genera un incremento del 5% de la resistencia, pero con un respaldo de un concreto durable, ya que el agua utilizada tiene los parámetros de sulfatos y cloruros entre los límites permitidos.

La aplicación de este proceso de limpieza y tratamiento de desechos de concreto es una solución económica para la industria de premezclado como se puede observar en el capítulo 5 de este documento, y en especial para las empresas medianas de este rubro.

5. CAPÍTULO V: ANALISIS COMPARATIVO DE VIABILIDAD ECONOMICA DE LA PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA TRATADA Y AGUA CONVENCIONAL

En este capítulo se realiza principalmente el análisis de costo del sistema convencional que utilizan las empresas de premezclado para la reutilización de agua mediante el uso de pozas de decantación, dicho análisis se realizó de acuerdo con los datos recopilados en las empresas Unicon y Mixercon. Asimismo, se presenta el análisis de costos implementando el producto floculante elegido al sistema convencional. Por último, se explica la optimización del proceso a la industria del premezclado en el Perú, los márgenes de ganancia y la reducción de costo sin perjudicar la calidad del producto ni la solicitud del cliente, a fin de contribuir con el medio ambiente.

5.1. Análisis de costos del sistema convencional

Las empresas de concreto premezclado en su mayoría utilizan el sistema de pozas de decantación para reducir los contenidos sólidos que pueda tener el agua utilizada para el lavado de concreto. En este sentido, es necesario analizar este proceso, cuantificando costos que se realizan para el adecuado funcionamiento de este sistema y observando los beneficios que tiene la utilización de pozas. Para ello se recaudó los datos necesarios en las diferentes visitas a las empresas de concreto premezclado que se encuentran validadas por los profesionales que laboran en estas empresas con los documentos en los Anexos 3, 4, 5, 6 y 7.

En la Tabla 22 se presentan los datos operacionales de las pozas de decantación para la limpieza de mixes de concreto.

Tabla 22. Datos del funcionamiento de la limpieza de mixer convencional

Dato	Cantidad	Unidad
N° de mixer que se lavan en 1 día	65	Mixers
N° de operarios en pozas	2	Operarios
Tiempo de lavado de 1 mixer	10	Minutos
Cantidad de agua para lavado (aprox)	250	Litros
Cantidad de mantenimientos de pozas	2	Veces/semana
Cantidad de galones por hora de mixer	0.17	galones

Nota. Elaboración propia.

Con los datos recaudados de las empresas de concreto premezclado en su operación para la limpieza de mixer de concreto se realiza un análisis de precio unitario para obtener el costo de la limpieza de 1 mixer. Se tomaron las siguientes consideraciones para este análisis:

- La cantidad de mixers que se lavan en un día en este sector de pozas es de 65 mixers en horario normal de trabajo de construcción. Por lo que el rendimiento de nuestro análisis de precio unitario es de 65 und/día para la mano de obra y equipos.
- En las pozas de lavado se visualizaron y el profesional a cargo indico que 2 operarios son necesarios para el funcionamiento de esta área.
- La cantidad de petróleo promedio que un mixer consume según las estadísticas de estas empresas es de 30 galones para 180 horas de trabajo, este dato se sintetiza en que la cantidad de galones que un mixer consume por hora es de 0.17 galones, por lo que en los 10 minutos que el mixer se encuentra en las pozas de lavado tiene un consumo promedio de 0.0278 galones.
- Según los datos ya vistos en el capítulo 2 de esta tesis, el consumo de agua para el lavado de un mixer es entre 200 y 300 litros de agua, en promedio 0.250 m³ de agua.
- Los mixers según los datos anteriores necesitan 10 minutos en las pozas de lavado por lo que en estos no influye el rendimiento del análisis y la cantidad de tiempo seria 1/6 horas de mixer.
- La mezcladora en las pozas si está sujeto al rendimiento del análisis.

- La eliminación de lodos lo realiza una tercera empresa que tiene un costo de 960 soles por una cisterna de 12 m³, como se indicó en el capítulo 2. Además, según los datos recopilados en el mencionado capítulo, el desperdicio de concreto es del 5% de la producción total. En un mixer promedio viajan 7 m³ de concreto, lo cual nos genera un volumen de 0.35 m³ de concreto en desperdicio.
- Entre los datos que se recaudaron se encuentran la cantidad de mantenimientos de las pozas que realiza una tercera empresa, con lo que se obtiene una proporción dividiendo los 2 mantenimientos a la semana, entre los 5.5 días que se considera de trabajo a la semana y entre los 65 mixers que se lavan en un día, resultando 0.0056 del global del costo por semana de mantenimiento.
- Los Precios según las unidades fueron recaudados del mercado de Lima Metropolitana.

Con las consideraciones descritas, en la Tabla 23 se presenta el análisis de precios unitarios por el lavado de un mixer de concreto con la metodología convencional en pozas de lavado de la empresa Unicon.

Tabla 23. Costo por camión lavado en la empresa Unicon

Partida	LAVADO DE MIXER METODO CONVENCIONAL EN UNICON					
Und/Día	65.00	EQ.	65.00	Costo unitario directo por: und		66.43
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
1.01	OPERARIO	hh	2.0000	0.2462	21.02	5.17
						5.17
Materiales						
2.01	PETROLEO PARA MIXER	gln		0.0278	11.30	0.31
2.02	AGUA	m ³		0.2500	7.60	1.90
						2.21
Equipos						
3.01	MIXER	hm	1.0000	0.1667	120.00	20.00
3.02	MEZCLADORAS	hm	1.0000	0.1231	63.00	7.75
3.03	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	5.17	0.16
						27.91
Subcontratos						
4.01	ELIMINACION DE LODOS	m ³		0.3500	80.00	28.00
4.02	MANTENIMIENTO DE POZAS	gbl		0.0056	560.00	3.13
						31.13

Nota. Elaboración propia

En el caso de la empresa Mixercon, poseen un sistema similar pero con la diferencia que no utilizan mezcladoras dentro del proceso de limpieza, esta empresa utiliza una lavadora de agregados con lo cual rescata un porcentaje finos que posteriormente será empleado dentro de la mezcla de un nuevo concreto en proporciones menores según sus nuevos diseños donde adicionan este agregado recuperado. Para la realización el análisis de precios unitarios del lavado de un mixer de la empresa Mixercon se toman en cuenta los datos de la Tabla 22 que fueron recopilados de ambas empresas y las siguientes consideraciones para su diferencia:

- La lavadora de agregados de la empresa Mixercon tiene un costo de 70 soles por hora, que es un costo similar a la mezcladora en la empresa Unicon, esta máquina también está afectada por el rendimiento del análisis.
- El volumen de eliminación de lodos es menor, ya que parte del desperdicio de concreto es recuperado en agregado fino, el porcentaje de recuperación es del 15%, según los datos de los profesionales que dirigen la planta de concreto de dicha empresa. Por ello, el volumen de eliminación de lodos para mixercon es de 0.2975 m^3 y el volumen recuperado es de 0.0525 m^3 de arena fina. El costo de la arena para la producción de concreto es de 56.27 soles, por lo que por mixer se logra recuperar un costo de 2.95 soles

Con las consideraciones descritas, en la Tabla 24 se presenta el análisis de precios unitarios por el lavado de un mixer de concreto con la metodología convencional en pozas de lavado de la empresa Mixercon.

Tabla 24. Costo por camión lavado en la empresa Mixercon

Partida	LAVADO DE MIXER METODO CONVENCIONAL EN MIXERCON					
Und/Día	65.00	EQ.	65.00	Costo unitario directo por : und		63.09
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
1.01	OPERARIO	hh	2.0000	0.2462	21.02	5.17
						5.17
Materiales						
2.01	PETROLEO PARA MIXER	gln		0.0278	11.30	0.31
2.02	AGUA	m ³		0.2500	7.60	1.90
						2.21
Equipos						
3.01	MIXER	hm	1.0000	0.1667	120.00	20.00
3.02	LAVADORA DE AGREGADOS	hm	1.0000	0.1231	70.00	8.62
3.03	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	5.17	0.16
						28.77
Subcontratos						
4.01	ELIMINACION DE LODOS	m ³		0.2975	80.00	23.80
4.02	MANTENIMIENTO DE POZAS	gbl		0.0056	560.00	3.13
						26.93

Nota. Elaboración propia

Las tablas 23 y 24 nos indican un costo del lavado de mixers de concreto premezclado en las dos empresas de esta industria con mayor mercado en el país. Unicon y Mixercon obtienen costos desecho de mermas de concreto que ascienden a 66.43 soles y 63.09 nuevos soles, respectivamente; pero en el caso de Mixercon existe una ventaja, la producción de agregados para la producción de concreto que tiene un valor de 2.95 soles por mixer. Con lo cual el costo de mixer lavado disminuye a 60.14 nuevos soles.

El sistema de pozas tiene algunos beneficios que resaltan para su utilización en la industria del premezclado. Estos beneficios son mejorables y se pueden optimizar con el uso del floculante para el sistema de lavado de mixers.

En la Tabla 25 se muestra los beneficios que cada compañía posee en su sistema de limpieza de camiones.

Tabla 25. Beneficios del sistema de pozas

Beneficios del sistema de pozas	
Empresa A	Empresa B
<ul style="list-style-type: none"> - Cero vertimientos de agua. - Cero residuos líquidos. - Sustitución de agua para proceso de producción entre 20% y 35%. - Reducción de emisores por menor frecuencia de transporte de agua y residuos. - Eficiencia en el consumo de recursos hídricos. - Más agua para la comunidad. - Mayor limpieza del mixer. - Disminución de la huella de carbono. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de vertimientos de agua. - Generar agregados gruesos. - Uso de menos cantidad de agua. - Disminución del tiempo de sedimentación. - Sustitución de agua para proceso de limpieza. - Reducción de emisores por menor frecuencia de transporte de agua y residuos. - Más agua para la comunidad.

Nota. Elaboración propia

Estos procesos tienen beneficios significativos, pero aún se pueden mejorar para hacer que esta actividad económica sea amigable con el medio ambiente. En este sistema la reutilización de agua es poca o nula y se puede mejorar

implementando un sistema de mejores resultados ecológicos. Además, los desperdicios de concreto fresco son un gran problema para ambas compañías y se mejoraría el proceso con una disminución de volumen de estos.

5.2. Análisis de costos del sistema con floculantes

La influencia del floculante en el costo del proceso de limpieza de manera directa es muy bajo, ya que este floculante es muy económico para este tipo de industria. El floculante influye en diferentes aspectos con referencia al antiguo proceso de limpieza, entre ellos el tiempo de lavado de un camión de concreto. El tiempo de lavado se reduce, debido a la intervención del floculante, este actúa como un agente que agiliza la sedimentación de las partículas. Además, al ser un proceso con mayor rapidez se eliminara las pozas de sedimentación que actualmente se tienen y que generan un gasto innecesario en el proceso propuesto. También, el mantenimiento de las bombas, paletas y ductos será en menor frecuencia, ya que al generar agua con menor cantidad de partículas sólidas suspendidas, los aparatos mencionados disminuyen su necesidad de un mantenimiento constante.

El tiempo que se utilizara para procesar los desechos de un camión de concreto se reducirá, en consecuencia de esto, también se reduce la cantidad de personal, combustible, energía, entre otros.

En la tabla 26 se presentan los datos operacionales del sistema de limpieza de mixers de concreto con la metodología de uso de floculante.

Tabla 26. Datos del funcionamiento de la limpieza de mixer con el método del floculante

Dato	Cantidad	Unidad
N° de mixer que se lavan en 1 día	65	Mixers
N° de operarios en pozas	1	Operarios
Tiempo de lavado de 1 mixer	5	Minutos
Cantidad de agua para lavado	200	Litros
Cantidad de mantenimientos de pozas	2	Veces/mes
cantidad de galones por hora de mixer	0.17	galones
% de agua recuperada del concreto	9.85%	-

Nota. Elaboración propia

Con los datos recaudados de las empresas de concreto premezclado y los resultados de los ensayos de la presente tesis para la limpieza de mixer de concreto

se realiza un análisis de precio unitario para obtener el costo de la limpieza de 1 mixer. Se tomaron las siguientes consideraciones para este análisis:

- La cantidad de mixers que se lavan en un día será la misma que en el método convencional de 65 mixers en horario normal de trabajo de construcción. Por lo que el rendimiento de nuestro análisis de precio unitario es de 65 und/día para la mano de obra y equipos. Según evaluación esta cantidad puede incrementarse, ya que hay espacios libres en esta área.
- En el área de lavado por la disminución de área y de tiempo de lavado solo será necesario 1 operario, con diferencia al método convencional donde se utilizan 2 operarios.
- La cantidad de agua necesaria para el proceso de lavado disminuye al 20%, ya que con este producto es necesario solo esa cantidad para garantizar el lavado según lo experimentado en la prueba industrial en la cual se utilizó 50 galones para un mixer de concreto que aproximadamente es 200 litros
- La cantidad de tiempo de lavado disminuye en 50%, ya que con el producto floculante la cantidad de agua es menor y el proceso de sedimentación se agiliza, llegando a realizar el lavado en solo 5 minutos.
- La cantidad de petróleo promedio que un mixer consume según las estadísticas de estas empresas es de 30 galones para 180 horas de trabajo, este dato se sintetiza en que la cantidad de galones que un mixer consume por hora es de 0.17 galones, por lo que en los 5 minutos que el mixer se encuentra en limpieza tiene un consumo promedio de 0.0138 galones.
- Los mixers según los datos anteriores necesitan 5 minutos en las pozas de lavado por lo que en estos no influye el rendimiento del análisis y la cantidad de tiempo sería 1/12 horas de mixer.
- La mezcladora tendrá el mismo rendimiento y los mismos costos que el método convencional
- Se recuperará el 50% del agua utilizada para la producción de ese desperdicio de concreto, para la producción de concreto se utiliza 197 litros según el diseño en el capítulo 4, que resulta ser el 19.70% del concreto, por lo cual el porcentaje recuperado será el 9.85%.

- La eliminación de lodos es reemplazada por la eliminación de desmonte, ya que los sólidos contarán con la mínima cantidad de agua debido a que con el uso del floculante se recuperará el agua utilizada en la producción de concreto. Realizando el cálculo matemático de los 0.35 m^3 de lodo se recuperará el 9.85% de agua, resultando 0.3155 m^3 de desmonte, para que de esta manera el lodo posea la mínima cantidad de agua y sea considerado desmonte.
- El volumen recuperado de agua es de 200 litros de la utilización para el lavado mas el 9.85% de los 0.35 m^3 del concreto devuelto a planta, haciendo un total de 234.47 litros de agua recuperada, que multiplicado por su precio unitario tiene un costo de 1.78 soles.
- Entre los datos que se recaudaron se encuentran la cantidad de mantenimientos de las pozas que realiza una tercera empresa, con lo que se obtiene una proporción dividiendo los 2 mantenimientos al mes, entre las 4 semanas que tiene un mes, entre los 5.5 días que se considera de trabajo a la semana y entre los 65 mixers que se lavan en un día, resultando 0.0013 del global del costo por semana de mantenimiento.
- Los Precios según las unidades fueron recaudados del mercado de Lima Metropolitana.

Con las consideraciones descritas, en la Tabla 27 se presenta el análisis de precios unitarios por el lavado de un mixer de concreto con la metodología del floculante.

Tabla 27. Costo por camión lavado con la metodología del floculante

Partida	LAVADO DE MIXER METODO FLOCULANTE					
Und/DIA	65.00	EQ.	65.00	Costo unitario directo por : und		35.54
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
1.01	OPERARIO	hh	1.0000	0.1231	21.02	2.59
						2.59
Materiales						
2.01	PETROLEO PARA MIXER	gln		0.0139	11.30	0.16
2.02	AGUA	m ³		0.2000	7.60	1.52
2.03	FLOCULANTE	Kg		0.0060	17.15	.10
						1.78
Equipos						
3.01	MIXER	hm	1.0000	0.0833	120.00	10.00
3.02	MEZCLADORAS	hm	1.0000	0.1231	63.00	7.75
3.03	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	2.59	0.08
						17.83
Subcontratos						
4.01	ELIMINACION DE DESMONTE	m ³		0.3155	40.00	12.62
4.02	MANTENIMIENTO DE POZAS	gbl		0.0013	560.00	0.72
						13.34

Nota. Elaboración propia

Se estima que el valor del lavado de un camión de concreto asciende a 35.54 soles con el sistema propuesto. Además, este sistema tiene la capacidad de generar un ingreso de materia prima para la producción de concreto premezclado, es decir reutilizar el agua que se consume en la limpieza de camiones de concreto y si se utiliza una lavadora de agregados de igual forma que en el sistema convencional se recupera agregado.

Los costos de lavado de cada camión de concreto se observan que se redujo en un porcentaje considerable y sumado a ello se obtiene un ingreso de materia prima para la producción de un nuevo concreto.

5.3. Costo comparativo de la producción de concreto

Los resultados de los ensayos de concreto en estado endurecido demuestran que el concreto elaborado con el agua combinada (50% agua convencional + 50% agua tratada con floculante) posee mayor resistencia en un porcentaje de 5%. Además, este incremento de resistencia no reduce significativamente las características del concreto en estado fresco o de durabilidad, por lo que estos resultados nos brindan la oportunidad de reducir la cantidad de cemento para de esta manera proporcionar una resistencia igual a la requerida, pero con menor cantidad de cemento. Esta optimización les genera una oportunidad a las empresas de concreto premezclado de reducir el costo de producción de su producto, ya que el costo más elevado es del cemento en la mezcla de concreto. También, el agua recuperada del proceso de limpieza sería un componente que reduciría el costo de producción, ya que esta materia prima del concreto sería reutilizada para generar un nuevo concreto sin generar ningún costo a la empresa.

La cantidad de cemento que se disminuiría sería según la relación agua cemento para asegurar que el concreto diseñado sea el requerido por el cliente de la empresa de premezclado, por ello si necesitamos un concreto de 280 kg/cm^2 debemos dividir entre 105%, que sería el aumento de concreto por el uso de agua combinada, para obtener la real resistencia de diseño que para este concreto propuesto es 266.67 kg/cm^2 . La relación agua-cemento se puede considerar es inversamente proporcional a la resistencia para este caso práctico, ya que la diferencia de resistencia es relativamente pequeña. En los diseños presentados en el capítulo 4, para un concreto de 280 kg/cm^2 la relación agua-cemento es de 0.7577 y al calcular esta relación para un concreto de 266.67 kg/cm^2 es de 0.7956, con este cálculo la nueva cantidad de cemento a utilizar para la resistencia indicada es de 247.62 kg para nuestro diseño y para obtener el volumen necesario se recalcula la cantidad de arena y piedra en proporciones que no afecte la incidencia arena/piedra.

En la Tabla 28 se muestran los costos de cada elemento para la producción de concreto y los diseños ajustados para la resistencia de 280 kg/cm^2 , cambiando la relación agua-cemento según lo calculado y manteniendo la relación arena/piedra.

Tabla 28. Costo de producción de 1 m³ de concreto de los diseños con agua convencional y agua combinada

COSTO DE DISEÑOS				Diseño patron - 100%Agua de produccion		Diseño - 50% Agua de produccion/50 % Agua tratada poza N°1	
				1280N67B			
INSUMOS	PROCED.	PRECIO	UNID.	CANT.	TOTAL	CANT.	TOTAL
Cemento T-I	UNACEM	S/.0.3735	Kg.	260.00	S/ 97.11	247.62	S/ 92.49
Filler	UNACEM	S/.0.0288	Kg.	46.00	S/ 1.32	46.00	S/ 1.32
Agua total	Red Pública	S/.0.0076	Lts.	197.00	S/ 1.50	98.50	S/ 0.75
Agua tratada			Lts.	0.00	S/ -	98.50	S/ -
Arena	Jicamarca	S/.0.0215	Kg.	949.00	S/ 20.40	963.28	S/ 20.71
Piedra #67	Jicamarca	S/.0.0171	Kg.	927.00	S/ 15.86	925.10	S/ 15.83
MasterSet R 800	Basf	S/.2.7000	Lts.	1.07	S/ 2.89	1.07	S/ 2.89
Master Rheobuild 1202	Basf	S/.2.7700	Lts.	2.30	S/ 6.37	2.30	S/ 6.37
COSTO TOTAL:					S/145.46		S/140.36
CARACTERISTICAS DE DISEÑO							
Relación a/c			-	0.7577		0.7956	
Filler			%	15%		16%	
Incidencia arena/ piedra			%	1.04		1.04	
%de humedad de arena			%	9.38		9.38	
MasterSet R 800			cc	3.50		3.50	
MasterRheobuild 1202			cc	7.50		7.50	

Nota. Elaboración propia

Según la tabla presentada se observa que el costos por metro cubico de producción de concreto con agua convencional es de 145.46 soles para un concreto de resistencia de 280 kg/cm² y con el uso de agua combinada es de 140.36 soles para la misma resistencia. La diferencia que existe entre ellos es de 5.10 soles por cada metro cubico de producción, lo cual generaría un ahorro a las empresas de concreto premezclado.

5.4. Optimización de costo en la industria del premezclado por el uso del método

Los resultados y análisis de los costos son favorables para la industria del premezclado en el Perú, con el empleo de este método se podría generar mayores márgenes de ganancia dentro de esta industria y reducir el costo del concreto para la construcción sin perjudicar la calidad del producto ni la solitud del cliente. Para visualizar el impacto económico se este método es necesario cuantificarlo en la magnitud del volumen de concreto que se distribuye en el país durante todo el año. Según los datos antes mencionados en los capítulos anteriores en el Perú el año 2017 se produjeron 5 millones de metros cúbicos de concreto premezclado, los cuales son distribuidos mediante mixers de concreto de volúmenes entre 5 a 8 metros cúbicos siendo los más empleados los camiones con 7 metros cúbicos.

En la Tabla 29 se presentan las cantidades de concreto anuales y otros datos convertidos a unidades para la visualización del impacto económico y beneficios de esta optimización con el método propuesto.

Tabla 29. Datos de la industria del premezclado y del método del floculante

Datos anuales	Cantidad	Unidad	Observación
Generales de la industria del premezclado			
Metros cúbicos producidos	5,000,000.00	m ³	
Cantidad de mixers cargados	714,285.71	mixers	7m ³ /mixer
Desechos de concreto	250,000.00	m ³	5% de producción
Consumo de agua (producción desechos)	49,250.00	m ³	197 litros/m ³
Consumo de agua (Limpieza mixers)	178,571.43	m ³	250 litros/mixer
Por el método del floculante			
Cantidad de agua recuperada	24,625.00	m ³	9.85% de desechos
Reducción de consumo de agua	167,478.57	m ³	234.47 litros/mixer
Reducción de desechos	24,642.86	m ³	0.0345 m ³ /mixer

Nota. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla presentada las cantidades de agua recuperada, reducción de consumo de agua y reducción de desechos es significativa

lo cual genera un beneficio no solo económico a la industria del premezclado, sino también al medio ambiente por la reducción de estos ítems que son perjudiciales para la contaminación y reducción de la huella hídrica del mundo.

Por otro lado, la implementación de este método generara una reducción de costo que tomando en cuenta los datos anuales del volumen de concreto producido se puede estimar el impacto económico a la industria del premezclado. Por ello en la tabla 30 se presentan los costos ahorrados tanto por la limpieza de mixers con el método propuesto y la producción de concreto con el agua tratada por este método, comparado con el método convencional en proporciones anuales de producción de concreto.

Tabla 30. Resumen económico del uso del método propuesto

Item	Cantidad	Precio	Subtotal	Diferencia
Limpieza de mixers				
Método convencional	714,285.71	S/ 66.43	S/ 47,450,000.00	S/ 22,064,285.71
Método propuesto (floculante)	714,285.71	S/ 35.54	S/ 25,385,714.28	
Producción de concreto				
Método convencional	5,000,000.00	S/ 145.46	S/ 727,300,000.00	S/ 25,500,000.00
Método propuesto (floculante)	5,000,000.00	S/ 140.36	S/ 701,800,000.00	
Total de ahorro				S/47,564,285.71

Nota. Elaboración propia

Económicamente la industria del premezclado también saldría beneficiada, ya que los costos obtenidos cuantificados a escala anual reflejan una reducción de inversión para un mismo producto, lo cual generaría mayores ganancias para esta industria y reducción del precio del concreto premezclado para la construcción sostenible del país.

6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES

En el capítulo sexto se presentará las conclusiones de la presente tesis, tomando en cuenta los resultados obtenidos de la propuesta de reutilización.

Identificar y analizar los métodos que se vienen desarrollando para el manejo de mermas de concreto tanto en su eliminación o reutilización hasta la actualidad.

- El Perú actualmente produce más de 5 millones de metros cúbicos de concreto premezclado y el 5% aproximadamente se convierte en desechos de este producto. Y el incremento de la demanda de este tipo de concreto cada vez es mayor.
- El sistema actual de lavado de camiones mixer demanda un promedio de 250 litros de agua por cada camión y este sistema es poco eficiente por la cantidad de tiempo que se demora en procesar estos desechos mediante las pozas.
- Según DIGESA, en el Perú solo se cuenta con 2 botaderos autorizados, por lo cual es necesario implementar un sistema de tratamiento de agua, por lo cual lo propuesto en esta investigación es un sistema de tratamiento de agua con floculantes.

Determinar el floculante a utilizar como método de reutilización del agua proveniente de las mermas de concreto, haciendo uso de ensayos normados y analizando el tiempo de reacción, costos, dosificación y cumplimiento de la norma NTP 399.088.

- Según las pruebas para la determinación de dosificación de floculante más eficiente, resultó que 2ml del floculante disuelto al 5% en agua logra el mejor resultado para un litro de lodo de poza de lavado de mixers.
- Se puede concluir que el agua combinada (agua de lavado de concreto devuelto + floculantes), cumple con los parámetros de la norma NTP339.88, por lo cual es apta para implementarlo en un nuevo diseño de concreto.
- Según el análisis potenciométrico que se realizó al agua combinada (agua de lavado de concreto devuelto+ floculantes), el resultado del ph fue de 12.92, por lo que comparado con un ph de agua potable, que se encuentra en un margen de 6 a 8, resulta con una medida altamente alcalina de la disolución, la cual no afecta al concreto debido a que este material es alcalino por naturaleza.

Aplicar diversos diseños de concreto convencionales ($f'c$ 210, 280 y 350 kg/cm²) con agua tratada para determinar las características del concreto elaborado empleando ensayos normados bajo el ACI, NTP y ASTM.

- Se concluye que los concretos preparados con agua combinada o agua convencional no tienen diferencia significativa en sus características en estado fresco como es el contenido de aire, densidad, caída de slump, temperatura y otros.
- Podemos indicar que utilizar agua combinada (agua de lavado de concreto devuelto + floculante) en el nuevo diseño de concreto, no causa efectos negativos en las pruebas de concreto endurecido; por el contrario se ha incrementado en un 5% la resistencia del concreto realizado con agua combinada, tal como se ha podido apreciar en los cuadros presentados.
- Según los ensayos de durabilidad del concreto la diferencia entre los resultados es mínima que indica que no causa ningún efecto dañoso al concreto elaborado con agua combinada con floculante.

Comprobar que la alternativa propuesta sea viable para la sustitución del agua de producción, empleando un análisis comparativo económico básico basado en costos y beneficios.

- Solucionar los problemas tanto de desechos sólidos como líquidos, contribuye con la reutilización sin dejar residuos (lodos), con la conservación de materias primas y con el ahorro de espacios para desechos.
- Las cantidades de agua que se recupera y la reducción de desechos es significativa económica y ambientalmente. Además, se disminuye el consumo de agua para el lavado de camiones mixer y genera un beneficio económico para la producción de nuevo concreto el aumento de resistencia a compresión.
- En la evaluación económica en volúmenes anuales de concreto premezclado producido en nuestro país, resulta que se puede generar 47 millones de soles de reducción de costo de esta actividad industrial con la implementación del método propuesto. Así mismo, reducir tiempos, espacio utilizado, contaminación, logística, procesos y otros.

7. CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

En el capítulo séptimo se presentará las recomendaciones y sugerencias para futuras investigaciones que se pueden realizar con temática vinculada a la desarrollada.

Identificar y analizar los métodos que se vienen desarrollando para el manejo de mermas de concreto tanto en su eliminación o reutilización hasta la actualidad.

- Se recomienda, a fin de una buena práctica medioambiental, mantener un registro de todos los desechos reciclados/eliminados, ya que servirá de ayuda para la empresa, debido a que son estos los que generan mayores gastos en las plantas de concreto premezclado.
- Asimismo, se recomienda implementar la metodología de las 5S para el proceso de eliminación de desechos reciclados/ eliminados, como es la clasificación, el orden, limpieza, estandarización y mantener la disciplina.
- Se recomienda realizar un plan de manejo de residuos sólidos y líquidos, producto de la producción de concreto premezclado para de esta manera gestionar de una manera óptima estos desechos.

Determinar el floculante a utilizar como método de reutilización del agua proveniente de las mermas de concreto, haciendo uso de ensayos normados y analizando el tiempo de reacción, costos, dosificación y cumplimiento de la norma NTP 399.088.

- Se debe entrenar en forma apropiada al personal designado que maneja los productos químicos, debe haber manuales/apuntes escritos, para el manejo de floculantes. Definiendo claramente los procedimientos de emergencia, donde todos los empleados conozcan sus responsabilidades.
- La investigación de otros productos floculantes es fundamental para la mejora continua de este método, ya que el avance tecnológico en esta industria es acelerado y se puede generar un producto con mejores resultados.
- Se recomienda implementar puntos de control para asegurar la calidad del agua que se utilizara en el concreto premezclado, tomando en cuenta las normas señaladas en la presente investigación y sus respectivas actualizaciones en el tiempo.

Aplicar diversos diseños de concreto convencionales (f'_c 210, 280 y 350 kg/cm²) con agua tratada para determinar las características del concreto elaborado empleando ensayos normados bajo el ACI, NTP y ASTM.

- Se recomienda evaluar especialmente al inicio de la implementación de este método a nivel industrial, las características de los concretos producidos para de esta manera generar una mayor data y parámetros con mayor exactitud de las propiedades del concreto producido con el agua combinada.
- Realizar otros tipos de ensayos no comunes al concreto producido con agua combinada y compararlos a los producidos con agua convencional, para de esta manera descartar alguna diferencia significativa en las características de ambos.
- Los concretos de alta resistencia deben ser evaluados con el propósito de ratificar lo concluido en esta tesis de los concretos de mayor uso en el mercado peruano, debido a que estos concretos poseen diseños distintos y alguno de sus componentes podría variar el resultado.

Comprobar que la alternativa propuesta sea viable para la sustitución del agua de producción, empleando un análisis comparativo económico básico basado en costos y beneficios.

- Se recomienda evaluar la alternativa de implementar un sistema de reciclaje total, para esto se debe realizar un estudio de mercado de los distintos fabricantes de recicladores, modelos y características técnicas. Asimismo, se debe tener presente el mantenimiento de esos equipos, para que funcionen correctamente.
- Evaluar un sistema de recirculación para de esta manera reducir en una mayor proporción el uso de agua para el proceso de limpieza de camiones mixer de concreto premezclado y generar una mayor reducción del costo de este proceso.
- Se recomienda realizar una investigación para la reutilización de los desechos sólidos que son eliminados como desmonte, para de esta manera tener un sistema completo y sostenible sin generar ningún tipo de residuo de la producción de concreto premezclado.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adán Vázquez Rojas (2011). *Elaboración de concretos con aguas tratadas*. Recuperado el 13 de febrero del 2020, de <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>
- American Concrete Institute (2005). *ACI Committee 116R-00: Cement and concrete technology*. Farmington Hills: ACI. Recuperado el 20 de Noviembre del 2019, de http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20116R00%20Cement%20and%20Concrete%20Terminology_MyCivil.ir.pdf
- ASOCEM (2019). *Reporte Estadístico Anual*. Recuperado el 13 de marzo del 2020, de <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Informes%20estad%C3%ADstico%20anual%202019.pdf>
- Asociación Argentina del Hormigón Elaborado (2008). *Concreto premezclado Vs Concreto hecho en obra*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <http://www.imcyc.com/ct2008/oct08/tecnologia.htm>
- A. Toledo (2017). *Gestión Del Agua y Oportunidad Para El Desarrollo Profesional*. Peru: Autoridad nacional del agua. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1_gestion_del_agua_en_peru_ing_atp_0_2.pdf
- BIBKO System (2007). *Sistema de Reciclado para la Industria del Hormigón*, pp. 1-24.
- Cemex (2016). *Reporte Integrado*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <https://www.cemex.com/documents/20143/160187/2016-reporte-integrado.pdf/173e5333-c94a-f5db-6c99-5f0e667ac2c3>
- C. Bedoya y C. Medina (2015). *El concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción*. Facultad de Ingeniería, Vol.25 (41), pp. 31–39. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfing/v25n41/v25n41a04.pdf>
- C. Lobo, y G. Mullings (2003). *Recycled Water feature in Ready Mixed Concrete*. Operations. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). Recuperado el 13 de marzo del 2020, de <https://www.nrmca.org/research/33%20CIF%2003-1%20wash%20water.pdf>

- Enrique Pasquel Carbajal (2014). *Diferencias de volúmenes. Entendiendo el concreto Controlmix Express* (pp. 10-13)
- Fernanda Carrasco (2013). *Agua para morteros y hormigones*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <https://silو.tips/download/universidad-tecnologica-nacional-facultad-regional-santa-fe-4>
- Ghrair, A. M., Al-Mashaqbeh, O. A., Sarireh, M. K., Al-Kouz, N., Farfoura, M., & Megdal, S. B. (2016). *Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes*. Ain Shams Engineering Journal. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447916301551>
- Instituto Nacional de Calidad. (2008). *Norma Técnica Peruana 339.046:2008 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. Lima : INACAL. Recuperado el 17 de Noviembre del 2019, de <https://www.coursehero.com/file/41992814/NTP-339046pdf/>
- Instituto Nacional de Calidad. (2011). *Norma Técnica Peruana 400.017:2011 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de https://kupdf.net/download/ntp-400-017-2011-agregados-m-eacute-todo-de-ensayo-para-determinar-el-peso-unitario-del-agregado_59138d9edc0d608a32959e7e_pdf
- Instituto Nacional de Calidad. (2013). *Norma Técnica Peruana 339.183:2013 CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de <https://es.scribd.com/document/372901325/NTP-339-183-2013-pdf>
- Instituto Nacional de Calidad. (2012). *Norma Técnica Peruana 339.184:2012 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de <https://es.scribd.com/document/365224657/NTP-339-184-2002-Metodo-d-Ensayo-NormalizadoPara-Determinar-La-Temperaturas-d-Mezclas>

- Instituto Nacional de Calidad. (2013). *Norma Técnica Peruana 339.185:2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de https://kupdf.net/download/ntp-3391852013-agregados-metodo-contenido-de-humedad-total-evaporable-de-agregados-por-secado_59c03b5808bbc55813686f84_pdf
- Instituto Nacional de Calidad. (2014). *Norma Técnica Peruana 339.088:2014 CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de <https://es.slideshare.net/kiaramirellaporrascrisostomo/ntp-339088>
- Instituto Nacional de Calidad. (2015). *Norma Técnica Peruana 339.034:2015 CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima: INACAL. Recuperado el 17 noviembre del 2019, de <https://es.slideshare.net/ERICKSA2/ntp-339034-2008>
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). *Norma Técnica Peruana 400.037:2018 AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos*. 4ª Edición. Lima: INACAL. Recuperado el 17 de noviembre del 2019, de <https://www.coursehero.com/file/55531514/NTP-400037-Agregadospdf/>
- J. Rickert, y H. Grube (2008). *Influence of recycled water from fresh concrete recycling systems on the properties of fresh and hardened concrete. Scientific and Technical Service Provider For The Cement And Building*. Recuperado el 20 de marzo del 2019, de https://www.vdzonline.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Betontechnische_Berichte/059-070_Einfluss_Restwasser.pdf
- Holcim(2016). *Reporte de Sostenibilidad*. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de https://www.holcim.com.ar/sites/argentina/files/atoms/files/holcim_informe_de_de_sarrollo_sostenible_2016-2017_baja.pdf
- Lafarge(2014). *Informe de Sostenibilidad*. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de file:///C:/Users/Asus/Downloads/04062018_lafargeholcim-sustainability-report-2017.pdf

- Marco Paulo Calarza Meza (2011). *Desperdicios de materiales en obras de construcción civil: métodos de medición y control*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/888/GALARZA_MEZA_MARCO_DESPERDICIO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- María Fernanda Serrano Guzmán y Diego Darío Pérez Ruiz (2011). *Concreto preparado con residuos industriales*. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/116/103>
- M. Serrano, y D. Perez (2016). *Concreto preparado con residuos industriales: Resultado de Alianza Empresa Universidad*. Revista Educacion en Ingenieria. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/116>
- NTP 339.088 (2014). *Características de densidad con relación a la frecuencia del ensayo. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima: OEFA. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- R. Dillmann Ravindra (1998). *Concrete with recycled concrete aggregate*. Recuperado el 15 de febrero del 2020, de <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/pdf/10.1680/scuorca.27268.0021>
- Ramón, Miranda Castillo (2009). *Evaluación tecnológica económica para la reutilización del agua, mediante el tratamiento de residuos en una planta de hormigón premezclado*. Recuperado el 27 de marzo del 2020, de http://dspace.utelca.cl/bitstream/1950/7400/1/miranda_castillo_r_indice.pdf
- Unicon(2014). *Reporte de Sostenibilidad*. Recuperado el 30 de abril del 2020, de <https://www.unicon.com.pe/reporte-de-sostenibilidad/>
- Unicon(2016). *Reporte de Sostenibilidad*. Recuperado el 30 de abril del 2020, de <https://www.unicon.com.pe/reporte-de-sostenibilidad/>
- Unicon(2017). *Reporte de Sostenibilidad*. Recuperado el 30 de abril del 2020, de <https://www.unicon.com.pe/reporte-de-sostenibilidad/>

- Vasquez, F. Gonzales, L. Rocha, y A. Flores (2001). *Elaboración de concretos con agua tratadas*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., Mexico. Recuperado el 20 de marzo del 2020, de <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>
- Yolanda Andía Cárdenas (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación*. SEDAPAL, Perú, pp. 50. Recuperado el 19 de agosto del 2020, de http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

9. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua realizado en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANALISIS DE AGUA - SALES

SOLICITANTE : ALVARO MORALES CARO
PROYECTO : PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE MERMAS DE CONCRETO
EN LA INDUSTRIA DEL PREMEZCLADO
UBICACIÓN : Planta Mixecon - Villa el Salvador
RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 26 de Setiembre del 2017

N° Lab.	N° Campo	CL (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	pH	Sólidos Totales (mg/L)	Alcalinidad mg CO ₃ /L
2343	Agua	1565.33	1339.61	12.92	7100.00	87.52

Métodos

Salas Solubles Totales: Determ. de Sales Solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.152 - 2002

Cloruro Soluble: Determ. de cloruros solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.177 - 2002

Sulfato Soluble: Determ. de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea - NTP339.178 - 2002

pH: Método Potenciométrico

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Teresa Velásquez Benjano
JEFE DE LABORATORIO

INFORMACIÓN TÉCNICA

AR-3029®

Agente Floculante

Descripción del Producto

Composición:	Copolímero de amida acrílica.
Forma de Suministro:	Sólido Granular
Tipo de Carga:	Anionico
Peso Molecular:	Alto
Color:	Blanco
Olor:	Característico
Viscosidad:	5 g/l 10% NaCl: > 140 mPa.s a 20,0 °C
pH (0.1 % en agua de grifo*):	aprox. 7-8 a 10 g/l (20,0 °C)
Rango de pH de trabajo:	6 - 12

Rango de Aplicación y Modo de Acción

AR-3029 se aplica principalmente para la floculación de los minerales y partículas de hidróxido de tipo sólido y coloides, de preferencia para la clarificación del agua de lavado en el tratamiento de materias primas mineras, tales como carbón, sal de roca, arena, grava y arcilla. También se utiliza en la producción de metales y procesos de las industrias y en la industria química.

Estas aplicaciones suelen incluir la floculación de partículas muy finas sólidas en suspensión coloidal en punto muerto para lechadas alcalinas, que contienen principalmente sólidos inorgánicos.

Otras aplicaciones incluyen el tratamiento de las aguas superficiales y subterráneas, y todo tipo de aguas residuales, después de un tratamiento preliminar con hidróxido de sustancias formadoras. El modo de acción de los productos aniónicos **AR-3029** se basa fundamentalmente en el intercambio iónico entre las cargas eléctricas a lo largo de la cadena polimérica, que están presentes en solución acuosa, y las cargas superficiales de las partículas sólidas suspendidas. Las superficies de las partículas se desestabilizan, produciendo la coagulación o floculación.

Aplicación/Dosificación

AR-3029 se utiliza como una solución diluida (0,05 a 0,1%). Para la preparación de soluciones madre (aprox. 0,5%) del producto original se agrega al agua con agitación uniforme. Después de un período de disolución de aprox. 90 min. (a una temperatura de $\geq 15^{\circ}\text{C}$) la solución está madura y por lo tanto lista para su uso. Debido a las propiedades muy variables de las suspensiones y lodos a tratar, además de las cantidades necesarias para una aplicación en particular sólo puede ser determinado mediante la realización de

pruebas de laboratorio y ensayos industriales.

Cuando se utiliza como un acelerador de sedimentación o agente clarificante (en los procesos de sedimentación estática), sólo unos pocos gramos de **AR-3029** por metro cúbico de la mezcla son necesarios para clarificar. En la deshidratación de lodos mecánicos, a fin de lograr un rendimiento alto y una máquina de descarga de agua libre de materiales sólidos sedimentables, aprox. 100 g/m³ de lodo húmedo se requieren.

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

El que suscribe, RAFAEL LLANOS RIZO
Carnet de Extra 000643563
..... identificado con DNI N°..... Certifico que realicé el
juicio del experto al instrumento diseñado por los estudiantes de la Universidad
Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC):

-RIVERO ARANIBAR, Zeidy Vilma DNI: 75936711
CODIGO: U201312629
-CARBAJAL FLORES, Luis Miguel DNI: 70559401
CODIGO: U201316439

UNIZON S.A. - CONCREMAX S.A.

RAFAEL LLANOS RIZO
GERENTE DE PRODUCCION

Firma del Experto

Anexo 4. Constancia de Juicio de Experto proporcionada por el Ing. Fernando Ponce, Jefe de planta en la empresa Unicon

. CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

El que suscribe, Fernando Ponce Zapata
..... identificado con DNI N° 10729511 . Certifico que realicé el
juicio del experto al instrumento diseñado por los estudiantes de la Universidad
Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC):

-RIVERO ARANIBAR, Zeidy Vilma	DNI: 75936711
	CODIGO: U201312629
-CARBAJAL FLORES, Luis Miguel	DNI: 70559401
	CODIGO: U201316439

Firma del Experto

Anexo 5. Constancia de Juicio de Experto proporcionada por el Ing. Luis Peña, Jefe de planta en la empresa MIXERCON

Lima, 03 de junio del 2017

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

El que suscribe, Luis Peña Vasquez

..... identificado con DNI N° 07021563.. Certifico que realice el juicio del experto al instrumento diseñado por los estudiantes de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC):

-RIVERO ARANIBAR, Zeidy Vilma

DNI: 75936711

CODIGO: U201312629

-MORALES CARO, Alvaro Manuel

DNI: 70244652

CODIGO: U201115822

(Luis Peña Vasquez)
Firma del Experto.

Anexo 6. Constancia de Juicio de Expertos proporcionada por el Ing. David Reategui, Jefe de mantenimiento en Unicon

Lima, 03 de junio del 2017

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

El que suscribe, ..*David Reategui Garcia*.....

..... identificado con DNI N° ..*41405461*... Certifico que realice el juicio del experto al instrumento diseñado por los estudiantes de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC):

-RIVERO ARANIBAR, Zeidy Vilma

DNI: 75936711

CODIGO: U201312629

-MORALES CARO, Alvaro Manuel

DNI: 70244652

CODIGO: U201115822

Firma del Experto.

Lima, 03 de junio del 2017

CONSTANCIA DE JUICIO DE EXPERTO

El que suscribe, JOSE LUIS VIACAVA E.
ESPINOZA... identificado con DNI N° 08657864 Certifico que
realice el juicio del experto al instrumento diseñado por los estudiantes
de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC):

-RIVERO ARANIBAR, Zeidy Vilma

DNI: 75936711

CODIGO: U201312629

-MORALES CARO, Alvaro Manuel

DNI: 70244652

CODIGO: U201115822

Firma del Experto.