



Ant. 1: Carta AL/74/17, de Melón S.A. que Informa respecto de Monitoreo de Material Particulado Sedimentable, (MPS) Melón S.A.

Ant. 2: Ord. N° 524 de fecha 21 de noviembre del año 2017, de la Seremi de Medioambiente, región de Valparaíso.

Ant. 3: Carta AL/05/18 de Melón S.A. que señala fecha de ingreso de nuevos informes mejorados respecto de Monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS)

Ant. 4: Carta AL/34/18 de Melón S.A., que acompaña Informe de Resultados "Emisiones Fugitivas Cementos Melón La Calera escenario 2016-2017"

Mat.: Presenta Informe Final "Resultado de las Medidas de Mitigación de Emisiones Fugitivas Implementadas en Planta Melón -La Calera-"

Adj.: Lo que se indica.

Santiago, 17 de febrero 2020
AL/ 14 /20

Sra. Victoria Gazmuri Vieira

Seremi de Medio Ambiente

Región de Valparaíso

PRESENTE

At: Sra. Siomara Gómez Aguilera

Ivan Marinado Felipos, Cedula de Identidad N° 12.181.294-0, en representación de **MELÓN S.A.** (en adelante "Melón"), RUT N° 76.109.779-2, ambos domiciliados para estos efectos en calle Ignacio Carrera Pinto N° 32, La Calera, a usted respetuosamente digo:

Que en el marco de una mesa de trabajo entablada entre mi representada y la SEREMI Medio Ambiente de la Región de Valparaíso, se solicitó a Melón la realización de una campaña de monitoreo de Material Particulado Sedimentable (en



adelante MPS) durante un periodo de 12 meses en la comuna de La Calera, a partir de noviembre del año 2016.

Que luego de entregada la información requerida conforme a lo expresado en el párrafo anterior, mediante Ord. N° 524 de fecha 21 de noviembre de 2017, esta Seremi remitió a Melón observaciones a la información ingresada por mi representada.

Que dicho Ordinario fue respondido a esta Seremi mediante carta AL/112/17, de fecha 15 de diciembre de 2017, acompañando los informes "Monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS)", "Informe Técnico Análisis de Metales en Muestras de MPS Sector La Calera" y el "Programa de Implementación de Medidas de Control de Emisiones Fugitivas"

Que con fecha 8 de enero de 2018 se celebró una reunión entre vuestra autoridad y Melón, en donde se discutieron los alcances y características de los informes entregados con fecha 12 de diciembre de 2017; en donde esta SEREMI solicitó un informe mejorado.

Que cumpliendo lo solicitado en el párrafo anterior, con fecha 30 de abril de 2018, Melón presentó a vuestra autoridad el Informe denominado "Emisiones Fugitivas Cementos Melón La Calera escenario 2016-2017"

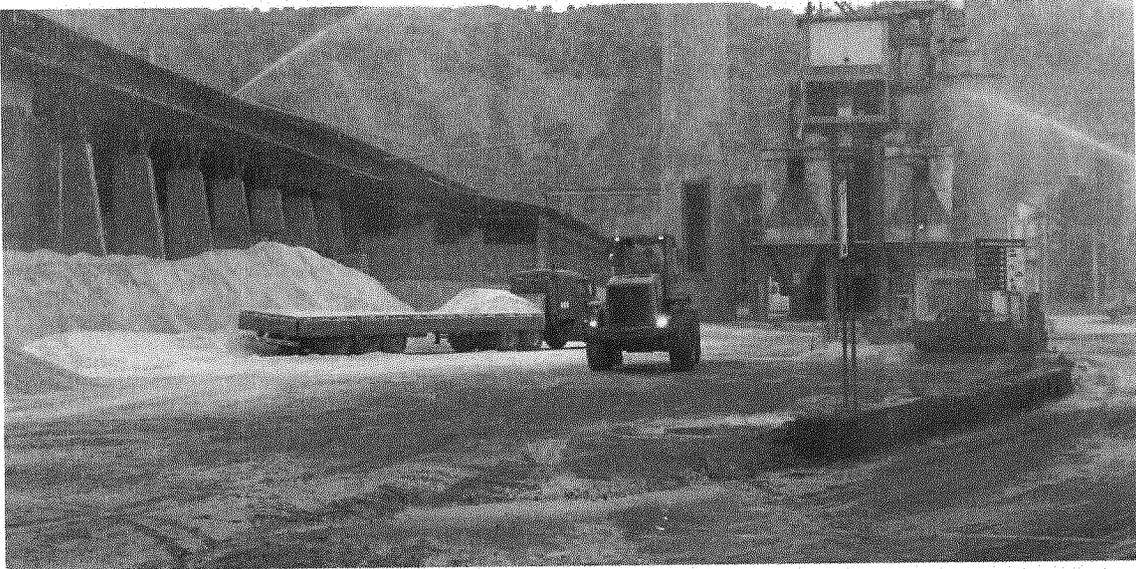
Que, en consideración a todo lo anteriormente señalado, y a la ejecución de la totalidad de las medidas comprometidas, es que Melón viene en presentar el Informe Final "Resultado de las Medidas de Mitigación de Emisiones Fugitivas Implementadas en Planta Melón -La Calera-"

Sin otro particular, saluda atentamente a usted.

Ivan Marinado Felipos
Melón S.A.

INFORME FINAL

**“RESULTADO DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES FUGITIVAS
IMPLEMENTADAS EN PLANTA MELÓN – LA CALERA”**



ENCARGADO POR:



ELABORADO POR:



FEBRERO 2020



PROFESIONALES RESPONSABLES

Ecotecnos

Dr. Humberto Díaz O.
Gestión y Ordenamiento Ambiental

Ing. Alfonso Olea G.
Especialista en Calidad del Aire

Mg. Roberto Ramírez A.
Ingeniería Ambiental

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. ANTECEDENTES.....	7
2. METODOLOGÍA	9
3. RESULTADOS	10
3.1. Verificación de cumplimiento de medidas.....	11
3.2. Efectividad en la reducción de consumo de agua	21
3.3. Efectividad de Reducción de Emisiones Fugitivas	28
4. CONCLUSIONES	37
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo presenta la verificación del cumplimiento de medidas propuestas por Melón a la Autoridad en el año 2017 junto con la efectividad actual de las medidas en la reducción de emisiones fugitivas proyectada a partir de diciembre del año 2018, más la efectividad actual en el control del consumo de agua de Planta Melón La Calera.

Previamente, la estimación de emisión de material particulado fugitivo se hizo para el periodo comprendido entre noviembre de 2016 y octubre de 2017. Además se realizó una estimación de emisiones en ese tiempo para un escenario futuro cercano (diciembre de 2018), en donde se consideraba que a esa fecha se encontrarían implementadas todas las medidas comprometidas a la Autoridad Ambiental por parte de Melón.

El logro de la implementación de medidas ha sido paulatino y si bien, la parte más difícil se realizó antes de diciembre de 2018, la verificación final completa se logra entre agosto y octubre de 2019. Concluyéndose que el total de medidas propuestas ha sido efectivamente implementado. Un caso específico de las medidas propuestas, se elimina en atención a un cambio en la zona de acopio del material. Este último punto está referido a la humectación de cenizas en la tolva de alimentación ubicada hasta el año 2017 en Cancha Colpas. No obstante, en el año 2018, este acopio se modifica y ya no se practica más en Cancha Colpas, trasladándose a la Nave NGP por el sector de Cancha NGP.

Para lograr la estimación de emisiones fugitivas tanto histórica, reciente, como proyectada para fines de 2018, se trabajó en la identificación de las mayores fuentes de emisión fugitivas, para posteriormente caracterizarlas en actividades unitarias propias causantes de la emisión, de manera de establecer tanto la emisión por fuente como total. Una vez realizado lo anterior, se totalizó en forma mensual las emisiones para comparar con las mediciones de la campaña de MPS. Se aplicaron en el año 2018 las medidas identificadas a una estimación del escenario futuro de la Planta, junto con el efecto de las medidas operacionales comprometidas.

Para el desarrollo de esta metodología resultó clave obtener un adecuado conocimiento de las actividades y operaciones, de manera de comprender las características de Planta La Calera, su distribución interna, los materiales con los que se trabaja, la maquinaria y la meteorología local. De la información recabada y al momento de realizarse este estudio, se obtuvo que las principales fuentes de emisión fugitiva corresponden a la Nave Grúa Puente (en adelante NGP) secciones Calizas, Petcoke, Clinker y canchas Colpas, Petcoke y Puzolana.

Las actividades genéricas de emisión corresponden al desplazamiento de maquinaria pesada de variada índole, la descarga de graneles en canchas o directamente en la NGP, la descarga de estos materiales en los buzones tanto a nivel de superficie como aquellos alojados al interior de la NGP y ubicados en altura, el manejo en cancha de estas materias primas descargadas y el barrido de rampas de camiones. Con estas 5 actividades genéricas se da cuenta de una lista de partidas de emisión unitarias específicas identificadas los días de visita a la Planta.



Se realizó una estimación de la emisión de material particulado por mes, para el periodo comprendido entre noviembre de 2016 y octubre de 2017, solo con las medidas de control de emisión existentes en ese periodo de tiempo y una estimación adicional posterior, pero con todas las medidas de control de emisión implementadas, proyectadas para diciembre de 2018.

Los resultados absolutos históricos recientes, obtenidos para las faenas generadoras de emisiones fugitivas indicaban valores de emisión que oscilaban entre 4.56 y 10.37 ton MP/mes, dependiendo de la suma de descarga y de consumo total de graneles realizada en forma mensual, los que oscilaron en el periodo estudiado, de noviembre de 2016 a octubre de 2017, entre 107.000 ton/mes y 245.000 ton/mes. Se establece, que esta oscilación en la emisión de material particulado fugitivo se relacionaba mayoritariamente con la nave Grúa Puente (NGP) y principalmente en la sección Clinker, más que con los niveles de descarga y consumo de otros materiales. La explicación para esta mayor significancia del manejo específico de Clinker, se justifica en que este material contiene una más alta cantidad de finos (*Silt*). Esta última aseveración, se sustenta en que no es posible humectar este sector por motivos operacionales, ya que el Clinker se endurece con el agua.

Para lograr determinar los contenidos de finos, de una manera específica para la Planta y no solamente basados en valores de literatura, se realizó en el año 2018, un detallado muestreo de 56 sub-muestras de material fino, muestreando tanto los pisos de las canchas como de las pilas acopiadas, para luego componer de una manera proporcional un total de 15 muestras de material particulado compósitas, a objeto de analizar su composición de finos, específicamente el *Silt* (PM-75). Lo anterior, permitió caracterizar de una manera específica los materiales que se manejan. Como resultado, se obtuvo una significativa composición de *Silt*, con valores que se encuentran en los rangos de 70 a 97%. Estos valores se explican por la naturaleza de los materiales manejados por una parte, lo que incluye el manejo de materiales finos como las cenizas, el clinker y la puzolana. Para lograr una adecuada comparación de los valores de MPS y la emisión de material particulado fugitivo, se analizó además los vientos característicos de superficie de la Planta para cada una de las canchas, lográndose determinar factores de atenuación superficiales y desfases de las componentes principales, todo lo cual a su vez permitió identificar una circulación del viento en condiciones de componentes meteorológicas dominantes.

En el estudio del año 2018 se desarrollaron 2 modelos matemáticos, uno para la humectación de las canchas y otro para estimar las emisiones fugitivas del barrido de las ramplas de camiones. Este desarrollo permitió enfrentar además la humectación con un mínimo consumo de agua y reducir las emisiones a prácticamente cero de la operación de barrido. Cabe señalar que todo este desarrollo se traspasó a los funcionarios de Planta Melón La Calera a través de 2 capacitaciones y del completamiento de la lógica de control del sistema automatizado de humectación utilizando todas las variables meteorológicas disponibles hoy en las mediciones que se realizan en la Planta. Dicho desarrollo es semi-empírico de manera que permite incorporar el aprendizaje de la operación con el sistema.

Para la comprensión de las cifras de **resultados de emisiones fugitivas del proyecto** de verificación, se muestran las 2 cifras que representan el escenario histórico reciente (noviembre de 2016 a octubre de 2017):



Emisión fugitiva total bruta promedio mensual: 7.58 ton MP. Indicador de emisión fugitiva por tonelada manejada promedio mensual: 46.236 gMP/ton MMPP.

Melón agrega en forma posterior al estudio de cálculo de emisiones del año 2018, tres medidas adicionales con el ánimo de mejorar la operación de graneles y también su desempeño ambiental asociado, intentando bajar sus emisiones fugitivas eliminando al máximo el acopio a la intemperie, así se producen modificaciones en la cancha de yeso, se modifica el acceso por razones operativas a la cancha de petcoke y se agrega además un cierre en el antiguo acceso a la cancha de Petcoke para disminuir el viento en el pasillo interior de ese sector de la nave, medida que después veremos como beneficia reduciendo las emisiones fugitivas del acceso a la cancha de acopio temporal de clinker. Estas medidas consisten en pavimentar todo el acceso a cancha yesos y aumentar el tamaño del encapsulamiento del buzón de carga, de manera de permitir a los camiones tolva descargar en forma directa en el nuevo buzón, cosa que antes hacían solo los cargadores frontales, reduciendo las emisiones además, al disminuir el tránsito del cargador frontal desde las pilas de yeso y hacia el buzón de carga para su consumo. En el caso del Petcoke, se modifica el acceso a la cancha de Petcoke, desde su ubicación anterior por el lado Oeste de la nave a su nueva ubicación de este acceso por el lado Este actual, descargando los camiones tolva en forma interior a nave NGP; se elimina por tanto este acceso de carga de Petcoke y se ingresa el material en la solución actual por el lado opuesto de la nave.

Finalmente y luego de la verificación realizada recientemente, entre los meses de agosto y octubre de 2019, se logra determinar que corresponde a un resultado de reducción de emisiones comparado con los valores históricos recientes, dando así un **índice de 24.20 gMP/ton MMPP**, lo que da cuenta de una reducción neta normalizada por tonelaje de graneles manejados, entre el escenario 2016-2017 y el escenario actual del año 2019, de un **47.66%**, debido a las medidas comprometidas e implementadas y las otras acciones mencionadas en el párrafo anterior. Dicho resultado en definitiva reduce las emisiones fugitivas de las operaciones de graneles en casi un 50% con respecto de las emisiones fugitivas históricas promedio recientes, lográndose un 95.32% de lo estimado inicialmente en reducciones de emisiones fugitivas.

Finalmente en relación a la verificación de consumos de agua en función de la proyección de reducción estimada comprometida, se pudo constatar una importante reducción de los consumos de agua con respecto del escenario histórico levantado y además con respecto de la estimación de reducción estimada. Las siguientes cifras reflejan lo indicado: consumo histórico reciente: 14.354 m³/año, consumo reducido proyectado y comprometido en informe Ecotecnos año 2018 (estimación conservadora): 12.494 m³/año, consumo anual verificado¹: 7.638 m³/año. Estas cifras si bien se logran en parte importante con registros medidos con el sistema automático actual y en parte con consumo estimados retroactivamente según pruebas actuales realizadas, nos indican el éxito en la gestión del sistema de humectación en cuanto al uso sustentable del recurso hídrico, el que se logra mediante una aproximación de consumos “desde menos a más”, de manera de avanzar en el control de las emisiones fugitivas aumentando muy controladamente el consumo de agua.

¹ La verificación debió estimar datos de consumos de agua en los 3 meses ausentes anteriores al inicio del registro informado para completar un año calendario de consumo, igualmente se realizó una estimación estacional y anual para lograr el consumo en cancha puzolana.

1. ANTECEDENTES

- Melón se compromete con la SEREMI de Medio Ambiente a fines del año 2017, a presentar un Plan de medidas para la mitigación de emisiones Fugitivas en Planta La Calera, con compromiso de reducción de emisiones fugitivas de un 50%.

Se realiza durante el primer trimestre del año 2018, el estudio de cuantificación de las emisiones fugitivas en la planta La Calera para: a) el escenario 2016-2017 (antes de las medidas de mitigación del Plan recientemente implementado) y coincidente con campaña de medición de MPS y, b) para el escenario proyectado 2018, una vez implementadas las medidas comprometidas, estimándose a futuro cercano, una mayor reducción que la comprometida, correspondiente aproximadamente a un 72% de reducción para las emisiones fugitivas de la Planta entre ambos escenarios. Dicha estimación proyectada de emisiones para fines de 2018, queda sin efecto debido a cambios físicos en la operación que no permiten comparar el antes (escenario proyectado) y después (escenario actual) debido a que no corresponden a los mismos escenarios, por lo que solo corresponde comparar la estimación de la emisión actual real con la estimación de la emisión histórica real.

- Se solicita en revisión de la SEREMI de Medio Ambiente, que se incorpore una evaluación del consumo de agua con las nuevas medidas de mitigación, al respecto se estima también una optimización en el uso del recurso hídrico en m³/año de reducción del consumo con las medidas por implementar. Esta meta es posible si se implementa una lógica de “menos a más” en el consumo de agua, es decir, cuidando lo más ajustadamente posible su consumo.
- A fines del año 2018, se termina el estudio anterior, completándose etapas de capacitación, dirigidas al personal de la Sala de Control de la Planta, desde donde ya se realizaba el control de humectación, ya automatizado en su primera versión.
- El Plan de Medidas de mitigación es implementado con variaciones correspondientes a mejoras operacionales.
- Melón solicita a comienzos de abril de 2019 a Ecotecnos, una evaluación de la efectividad de las Medidas implementadas en el año 2018.
- La evaluación de efectividad actual, sobre medidas ya implementadas, requiere realizar el levantamiento de implementación tal como fue desarrollado (Plan de Medidas “as built”), considerando las mejoras realizadas al Plan de medidas por una parte, y por otro lado, verificar o ajustar los supuestos estimados anteriores y ajustar la cuantificación de reducción a la realidad operacional de movimiento de materiales del año 2018 y comienzos del 2019.



- Para determinar la efectividad se requirió no solamente verificar la implementación física de las medidas sino que también levantar los registros que dan cuenta de la operación con estas medidas, para así poder calcular la reducción real de las emisiones considerando los datos registrados.

2. METODOLOGÍA

El presente informe ha sido elaborado a partir de la constatación de la implementación de medidas a través de distintas visitas a terreno. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Visitas de inspección junto a otras actividades del proyecto.

Fecha	Actividad Realizada
14/06/2019	Visita 1 Constatación de implementación de medidas
28/06/2019	Visita 2 Constatación de implementación de medidas
08/07/2019	Visita 3 Constatación de implementación de medidas
18/07/2019	Muestreo Adicional de superficies pavimentadas en Cancha Yeso, pesaje inicial, y secado de muestras en laboratorio de Geología planta La Calera
19/07/2019	Muestreo adicional de superficies pavimentadas de acceso a cancha Petcoke, pesaje inicial y secado de muestras en laboratorio de Geología planta La Calera
20/07/2019	Pesaje y tamizado de muestras, determinación de la masa estandarizada por unidad de superficie, en laboratorio Geología de la planta
14/08/2019	Visita 4 Constatación de implementación de medidas
11/09/2019	Presentación Informe de avance y constatación final de medidas

Conjuntamente, se realizó un análisis meteorológico en 2 nuevos puntos debido a la modificación de dos de las canchas de materiales de Melón estudiadas originalmente en 2018. Esto último se realizó para dotar a la nueva ubicación del área de acceso de Petcoke, de su propio factor de atenuación del viento, al igual que se hizo con todas las demás canchas en el informe anterior. También se hizo dicha medición sobre el área de acceso a cancha provisoria de Clinker, debido a que se cerró parcialmente un sector de la Nave NGP entre la ex ubicación de cancha de Petcoke y la zona de Clinker, donde se producía una fuerte circulación de viento. Debido a que dicho cierre podía modificar la circulación de viento frente a Clinker, se recomendó medir nuevamente el viento en este sector para verificar los efectos del viento. La medida recomendada se acogió y se implementó, determinándose que en ambos casos correspondía realizar la corrección del factor de atenuación.

El Acceso a cancha de acopio temporal de Clinker, reduce sus emisiones, tanto por menor intensidad del viento, debido en parte a la atenuación de éste, como por un manejo más adecuado del material derramado o transportado.

A continuación, como parte del trabajo se procede a realizar una nueva estimación de las emisiones fugitivas, de manera de poder contrastar esta información con los resultados históricos, presentados en el informe preparado por Ecotecnos en el año 2018. No obstante, previamente fue necesario realizar un muestreo del material particulado existente sobre las superficies pavimentadas en Cancha Yeso y en superficies de acceso a cancha Petcoke.

3. RESULTADOS

De acuerdo a información presentada en el informe “Emisiones Fugitivas Cementos Melón La Calera, Escenario 2016 – 2017 y Medidas de Control”, elaborado por Ecotecnos en abril de 2018, los controles de emisión fugitiva considerados por Melón para ser implementados a diciembre de 2018, correspondían a los siguientes.

Tabla 2. Controles de Emisiones.

N°	Medida a Implementar	Aspecto a Mejorar
1	Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas	Humectación de camino sector cancha nave grúas puente y cancha colpas. Humectación zonas de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas.
2	Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.	Humectación en zona de descarga de cenizas para reducir emisión fugitiva respectiva.
3	Automatización del sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas	Humectación de camino sector cancha nave grúas puente y cancha colpas Humectación zonas de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas
4	Diseño e implementación Automatización Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.	Humectación de la descarga de cenizas en los buzones
5	Control remoto, monitoreo y registro operación aspersores, con preparación anticipada	Humectación zona descarga de cancha nave grúa puente y cancha colpas, con lo cual se humectará caminos, canchas y pilas.
6	Nuevo sistema de humectación provisorio en canchas y caminos en general mediante sistema tipo camión aljibe.	Humectación de caminos en general y específicamente en zona sector descarga de cenizas y correctores.
7	Nuevo sistema de barrido de camiones provisorio	Emisiones fugitivas por polvo de barrido
8	Cierre lateral de parte del Lado Nororiental Nave Grúas-Puente	Control de la dispersión de polvo al interior de la Nave Grúas -Puente en el sector Calizas

A continuación se procederá a analizar la evaluación de efectividad de las medidas en 3 puntos principales:

3.1. Verificación de cumplimiento de medidas

Tabla 3. Estado de Verificación de las medidas comprometidas.

N°	Medida a Implementar	Aspecto a Mejorar	Estado de verificación
1	Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas.	Humectación de camino sector cancha nave grúas puente y cancha colpas. Humectación zonas de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas.	✓ Logrado: 100%
2	Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.	Humectación en zona de descarga de cenizas para reducir emisión fugitiva respectiva.	Se elimina la medida por retiro del acopio en cancha Colpas
3	Automatización del sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas.	Humectación de camino sector cancha nave grúas puente y cancha colpas. Humectación zonas de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas.	✓ Logrado: 100% automático.
4	Diseño e implementación Automatización Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.	Humectación de la descarga de cenizas en los buzones.	Se elimina la medida por retiro del acopio en cancha Colpas
5	Control remoto, monitoreo y registro operación aspersores, con preparación anticipada.	Humectación zona descarga de cancha nave grúa puente y cancha colpas, con lo cual se humectará caminos, canchas y pilas.	✓ Logrado 100%, Control Remoto. (implementación del automatismo en Sala de Control, con capacidad remota de control desde esta sala)
6	Nuevo sistema de humectación provisorio en canchas y caminos en general mediante sistema tipo camión aljibe.	Humectación de caminos en general y específicamente en zona sector descarga de cenizas y correctores.	✓ Logrado 100%. (Camión aljibe operó en la etapa inicial del sistema mientras se completaba la nueva mecanización y la automatización del sistema)
7	Nuevo sistema de barrido de camiones provisorio.	Emisiones fugitivas por polvo de barrido.	✓ Logrado: 100%.
8	Cierre lateral de parte del Lado Nororiente Nave Grúas-Puente	Control de la dispersión de polvo al interior de la Nave Grúas - Puente en el sector Calizas.	✓ Logrado: 100%.

Nivel de detalle de verificación de Medida 1: 1-(a)

Se desarrolla una gran inversión, la que incluye, estanque, 2 bombas nuevas, electroválvulas, flujómetros, tendido nuevo de cañerías en acero para soportar las nuevas presiones de agua, nuevos ramales de alimentación, el cual es preparado para su posterior operación en modo manual y automático. Se diseña todo un *lay-out* de ubicación de aspersores para cubrir todas las áreas requeridas de control de emisión mediante humectación mecanizada y automatizada.

En inspección de terreno, se recomienda agregar un aspersor adicional para cubrir completamente un sector de cancha Colpas, específicamente cercano al acceso de Tolvas de carga de correctores. Se acoge la medida y se agrega un rociador al diseño de Melón para apuntar al cumplimiento del Diseño y montaje de la Medida 1: Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas, se denomina a este equipo adicional.

Rociador adicional Colpas (RF)

Nivel de detalle de verificación de Medida 2 y de la Medida 4:

Medida 2: “Diseño y montaje Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.”

Medida 4: “Diseño e implementación Automatización Nuevo sistema de humectación mediante aspersión o nebulización sobre tolva de descarga de cenizas.”

Se eliminan las medidas por retiro del acopio en cancha Colpas, trasladándose al interior de Nave NGP. No obstante, se destina un rociador de la Cancha NGP exclusivamente a la zona de acercamiento de camiones al sector de acopio de Cenizas para mantener humectada dicha superficie. Con esta medida, son minimizadas sus emisiones fugitivas.

Nivel de detalle de verificación de las Medidas 3 y 5:

Medida 3: “Automatización del sistema de humectación mediante red de aspersores fijos de caminos y zona de descarga cancha nave grúas puente y cancha colpas”.

Medida 5: “Control remoto, monitoreo y registro de operación de aspersores, con preparación anticipada”.

Se implementa en dos etapas, automatismo fijo y variable. La automatización variable inicialmente considera 2 variables meteorológicas, pero además se progresa en la actualidad al nivel de 7 variables meteorológicas relevantes, medidas *on line*, mediante 2 estaciones meteorológicas, ubicadas una en cancha NGP y otra en Cancha Colpas. Se cumple con lo comprometido en el sentido de control establecido vía remota. El control se instala en la Sala de Control de la planta. Se otorga al sistema las bondades de visualización en pantalla desde Sala de Control, no solamente de las acciones e



indicación de variables *on line*, sino que además el estado de operación de válvulas principales y bombas, además del estado de consumo de agua totalizada anual, mensual, por semana, día y turno, por canchas Colpas y NGP.

El automatismo diseñado y puesto en marcha en implementación con criterio “de menos a más” apunta a minimizar el consumo de agua a la vez que cumple con el objetivo principal, de mitigar la emisión fugitiva de las operaciones en canchas. El sistema tiene además la opción de ser encendido manualmente en cualquier momento que se considere necesario. A través de lo anterior se permite a los operadores implementar una retroalimentación del control automático, de aquello que el automatismo no considera: la emisión fugitiva visual. La automatización actúa indirectamente mediante información meteorológica y se mejora y ajusta permanentemente en función del aprendizaje de operadores, supervisores y ejecutivos de la planta, como también por recomendaciones de sus asesores.

Se agrega al diseño explícito comprometido, las siguientes tareas:

3-(a) Incorporación de visualización de pantallas de totalización de consumos de agua en Sistema PI.

3-(b) Algoritmos de control considerando el total de variables meteorológicas².

Algoritmo de control según datos meteorológicos:

A la fecha de emisión del presente informe, el algoritmo de control considerando todas las variables meteorológicas es el siguiente:

Consiste en una tabla de múltiples entradas, con rangos de vigilancia o semáforos (*flags*), establecidos para cada variable meteorológica donde el análisis se puede realizar en forma monovariante o combinada, dependiendo de la criticidad de la variable analizada.

El algoritmo es semi-empírico, significando que en algunos casos hay determinaciones teóricas definitivas o determinantes (por ej., si llueve, no se debe humectar) y a la vez es empírico, ya que la estimación teórica de no humectar, será también “aprendida” de la experiencia en terreno por parte de los operarios de Melón. Por dar un ejemplo, si la humedad del aire es del 95%, se esperaría que no se humecte. Sin embargo, si un operador en cancha observa que aún en esas condiciones de humedad relativa del aire, sí se producen emisiones fugitivas, entonces debe desplazarse la condición de partida o de “luz verde” del semáforo a un valor más “alto” del umbral, a partir de un nuevo valor “aprendido” (de prueba), el que por ejemplo podría ser del 97% o de 98% de Humedad relativa del aire bajo determinadas circunstancias.

También se puede dar el caso de una combinatoria de variables, no solamente de un análisis monovariante, por ejemplo: Presión barométrica y Dirección del viento simultáneas.

En cualquiera sea el caso, habrá siempre una condición que será determinante y corresponderá a una instrucción manual, tanto de partida como de parada. Todo lo

² Se entrega en el presente informe.



anterior define una lógica semi-empírica según se indica en las figuras siguientes y que consideran valores propuestos para un inicio, o más bien, para una continuidad del aprendizaje (ciclo de mejora continua).

En el aprendizaje realizado a la fecha, se ha explorado en planta principalmente la relación monovariable entre velocidad del viento (ws en inglés) y Temperatura del aire (TA). Los valores de umbral monovariables de partida de humectación en este caso son los siguientes:

$$TA > 25^{\circ}\text{C} \text{ ó } WS > 20 \text{ km/h}$$

Significando lo anterior que basta que una de las dos condiciones anteriores se verifique, para que se inicia la humectación por un pulso de agua.

El pulso de agua se establece en segundos o en minutos y existe un control de tiempo al respecto. Lo anterior implica que se humectará con un tiempo de espera entre un pulso de agua y el siguiente, lo cual también se aprende de la experiencia empírica de terreno.

El tiempo de espera (tiempo de espera de encendido en este caso) asegura no encender la siguiente humectación, salvo re-encendido manual.

También se requiere de un tiempo de espera de apagado. En este caso es el tiempo del pulso de humectación, el cual también se define empíricamente. El tiempo de espera de apagado, también se puede interrumpir por una instrucción manual de apagado.

Figura 1. Esquema de variables de entrada y salida del proceso de Evaporación.

La evaporación es el proceso que se debe compensar mediante humectación para evitar la emisión fugitiva. Comprender la evaporación corresponde al primer paso, luego la inspección visual del proceso industrial que ocurre adicionalmente sobre el de evaporación. De esta manera la humectación debe ser mayor a las horas de operación industrial que solo para compensar la evaporación. En cierta medida el tránsito de maquinaria pesada sobre un suelo que se seca por razones meteorológicas, se seca adicionalmente por el peso de la maquinaria y por el efecto de remoción del suelo por rodadura.

A continuación en la Tabla 4, se observan los umbrales considerados de inicio y de término para que ocurra o se reduzca considerablemente la evaporación y con ello la necesidad meteorológica de humectación.

Tabla 4. Umbrales empíricos de decisión o flags, sobre las variables meteorológicas analizadas en forma monovariante.

	Umbrales	Evaporación
Ir	<10%	0
	>10%	1
TA	<0	0
	>5	1
WS	<0,1	0
	>1 (m/s)	1
HR	>98%	0
	<95%	1
PP	>0,1	0
	<0.1	1
WD	SW	1
	NE	0

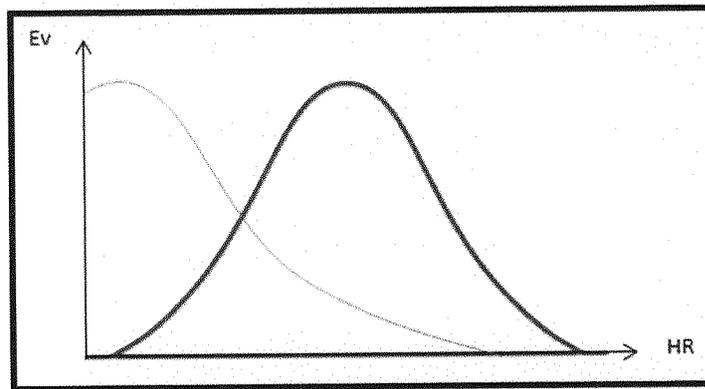


Figura 2. Relación entre Evaporación del suelo (curva roja) y la humedad del aire. Relación entre la evaporación y la hora del día con respecto a la radiación solar (curva azul).

En la Figura 2, se observa la dependencia monovariante (en color rojo) entre la evaporación y la humedad relativa.

Las diferentes relaciones monovariante y la evaporación, ocurren simultáneamente, correspondiendo a dos de estas relaciones las indicadas en la Figura 2. Así la curva en color azul corresponde a la relación entre Evaporación y tiempo considerando solo la Irradianza o radiación solar, la cual nos indica que la evaporación es máxima a la hora de mayor irradianza o a la hora de máxima radiación solar. También nos indica que antes de



la salida del sol y después de la puesta del sol, la evaporación es nula. En la práctica no se tiene acceso a la relación monovariante entre evaporación y sus variables causantes, sino que a la relación simultánea entre la evaporación y todas las variables causantes. Así por ejemplo, según la relación monovariante entre evaporación e irradiación, la evaporación es cero después de la puesta de sol, pero en la práctica esta evaporación no es cero a esa hora, sigue existiendo, es decir el suelo se sigue secando, esto es así, porque existen otras causas aún actuando, como por ejemplo la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad relativa, etc.

La curva de color rojo, corresponde a la relación entre evaporación y la humedad relativa del aire, algo desfasada en el eje central, la cual nos indica que la evaporación es máxima en un aire completamente seco y disminuye en la medida que el aire incrementa su contenido de humedad, hasta que se anula cuando el aire está completamente saturado de humedad o con humedad igual a 100%.

El estudio y análisis simultáneo de todos los procesos de evaporación en función de variables meteorológicas monovariantes, permite identificar la conducta de la evaporación si estas variables se consideran en forma simultánea, de esta manera se logra identificar condiciones que se pueden aprovechar de manera que si se reconocen *on-line*, se pueden utilizar para el control automático de encendido o apagado del proceso inverso a la evaporación, el cual es el de humectación.

En el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3, (figura siguiente) se muestran en forma de algoritmos lógicos de tipo *on/off*, según condiciones de borde desprendidas de estas relaciones simultáneas mono variables y la evaporación, cuando se debe dar comienzo o término a un ciclo de humectación.

Todas estas relaciones se pueden verificar en el siguiente diagrama de Flujo que muestra la relación lógica entre algunas variables evaluadas en forma monovariante y otras en forma multivariante.

Tal es el caso de la precipitación, si se encuentra lloviendo en un momento en la planta, esa sola información supera a las otras variables para una toma de decisión lógica, es decir, esa información mono variable es suficiente para detener o bien impedir la humectación, salvo control manual, que siempre tendrá la prioridad máxima.

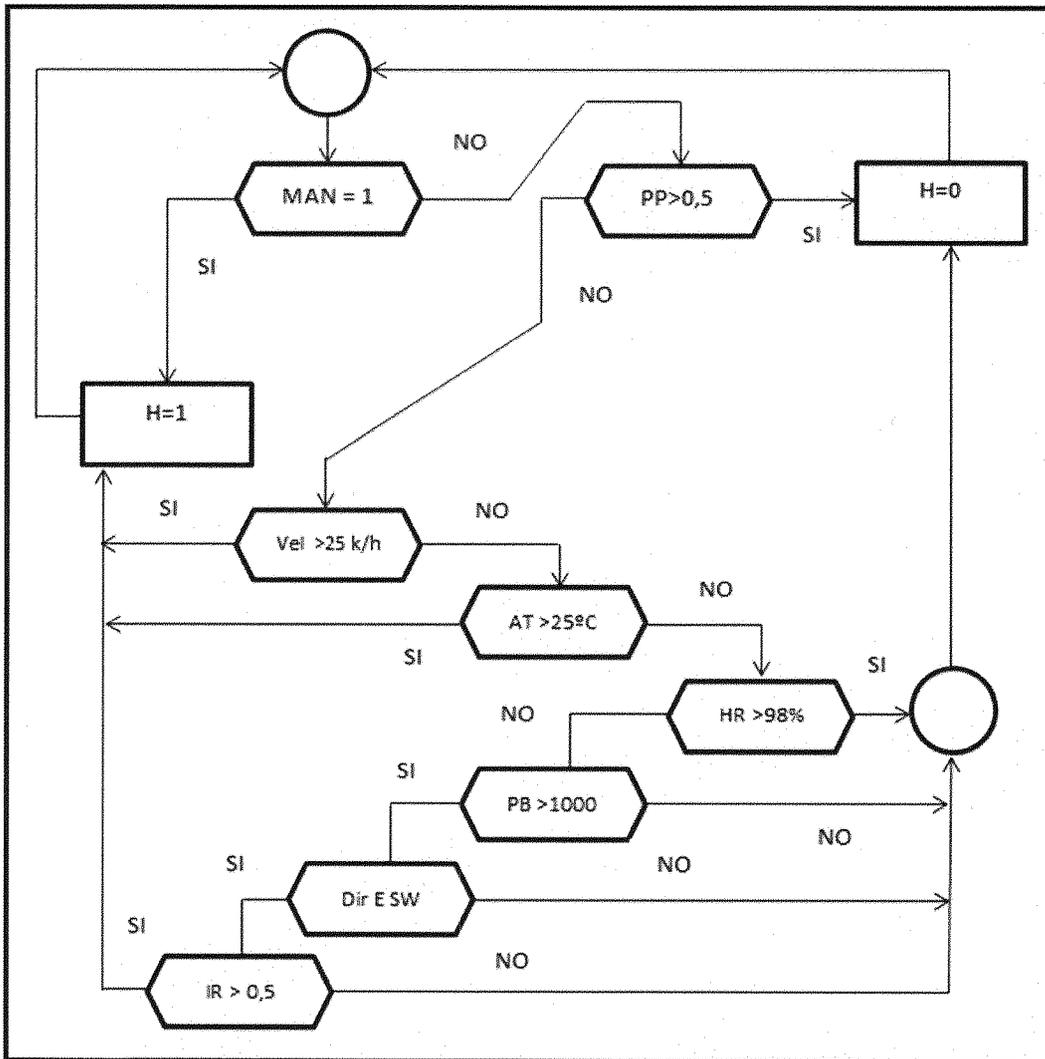


Figura 3. Diagrama de Flujo indicando las condiciones monovariantes autónomas y aquellas multivariantes o encadenadas para humectar (H=1) o para parar de humectar o no humectar (H=0).

MAN: flag para control manual. MAN = 1, (SI) Iniciar o mantener humectación instrucción manual; (NO): Detener Humectación o mantener sin humectación.

PP: Precipitación, Flag PP = 0.5 *, condición de precipitación diaria, por ejemplo en noche o en madrugada, pero PP=0 durante el día.

Vel, Ws: Velocidad del viento; Flag Vel=25 km/h

AT: Temperatura del Aire, Flag AT=25°C

HR: Humedad relativa del aire, Flag HR = 98 %

PB: Presión barométrica del aire, Flag PB =1000 hPa

Dir: Dirección del viento, Flag Dir = rango SW

Ir: Radiación Solar, Flag Ir = 0,5 W/m².

Nota: en el Diagrama de flujo no se indica el ciclo de verificación del tiempo de Pulso de agua.

Nivel de detalle de verificación de la Medida 6:

Medida 6: “Nuevo sistema de humectación provisorio en canchas y caminos en general mediante sistema tipo camión aljibe”.

Este sistema (camión aljibe) operó en todo el período de diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de las medidas 3 y 5, asociadas con la implementación de un sistema automático de humectación mediante aspersores. No obstante, en la actualidad el camión no opera y sólo se encuentra disponible en caso de falla y/o mantención del sistema principal.

Nivel de detalle de verificación de la Medida 7:

Medida 7: “Nuevo sistema de barrido de camiones provisorio”.

Humectación de barrido de ramplas de camiones:

Después de haberse analizado diversas opciones, haber investigado en el algoritmo de estimación de estas emisiones, y de haber comprendido algunas restricciones de terreno como son por ejemplo:

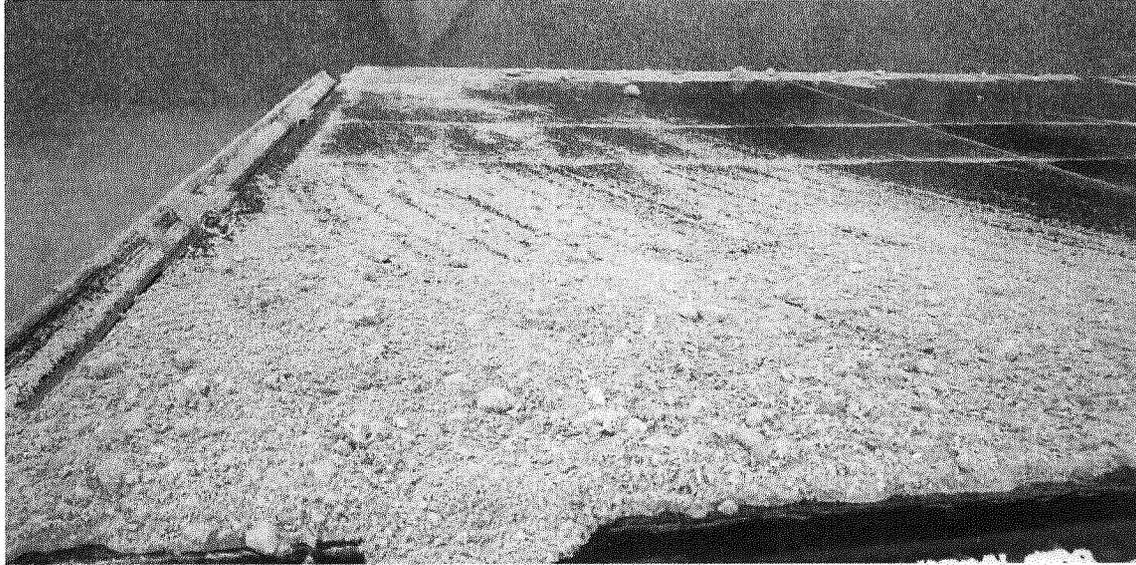
- Tiempo de operación de la cuadrilla de barrido
- Exposición de la manguera de agua al paso de otros vehículos pesados
- Evitar humectar excesivamente la rampla de los camiones (ya que por razones operativas dificulta la calidad del transporte de *big bags* con cemento en el viaje de retorno)
- Requerimiento general de cuidar el uso del recurso hídrico.

Se llega a la siguiente conclusión:

No es necesario un sistema tan complejo para realizar este barrido. Sin embargo, lo que sí es efectivamente necesario, es solo humectar el material antes de barrer, no resultando necesario barrerlo con un sistema de agua a presión, implementado con equipos más complejos portátiles tipo hidro-lavadora de alta-presión o mediante una isla de barrido húmedo.

Con esto en consideración se implementa por Melón un sistema muy simple y rápido de aplicar, compuesto de una manguera larga que se enrolla en la zona del contenedor de control de descarga de cancha NGP y dispuesta de un rociador en su extremo. Esta solución fue observada operando en terreno y resulta muy eficaz. Quedan desafíos en esta medida para terminar de desarrollarla, como por ejemplo humectar bien el material que queda acumulado al extremo delantero de la rampla, en el diedro de la rampla y el borde delantero de la misma (borde en el piso, entre rampla y pared de la misma detrás de la cabina en el caso de la primera rampla y en el mismo borde entre el piso y la pared respectiva, en el caso de la rampla remolcada o rampla 2 (ver detalle en fotografías 1 a 4). En esa unión de metales, el material se tiende a acumular formando un volumen transversal a la rampla, más difícil de humectar suficientemente antes de ser barrida. Una posibilidad es la de extender este material sobre la plataforma antes de humectar para asegurar su humectación, sino solo se humecta por encima y en el momento de barrerla

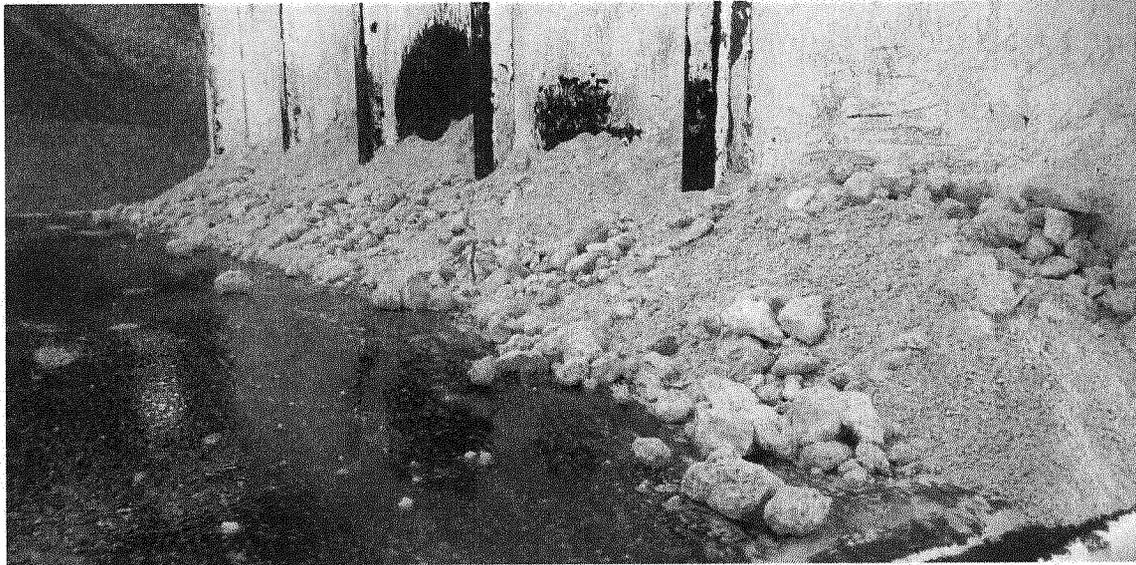
finalmente, aun continúa estando seco, con lo cual se continúan generando emisiones, cosa que se trata justamente de evitar con esta medida.



Fotografía 1. En la fotografía se observa el material humectado y disperso sobre la rampla antes de ser barrido.



Fotografía 2. Parte de la rampla limpia post barrido.



Fotografía 3. Zona de acumulación del material remanente entre la superficie horizontal de la rampla y la pared vertical.



Fotografía 4. Tarea de barrido en ejecución, del material acumulado entre ambas superficies con el material remanente humectado parcialmente.

Nivel de detalle de verificación de la Medida 8:

Medida 8: “Cierre lateral de parte del Lado Nororiente Nave Grúas-Puente”

A partir de las visitas de terreno, se verifica que esta medida ha sido implementada en su totalidad.

3.2. Efectividad en la reducción de consumo de agua

Humectación por canchas

La Humectación por Canchas se define según la siguiente distribución de rociadores por ramal y el siguiente algoritmo a partir de los rociadores de los ramales 1 al 3:

Tabla 5. Rociadores por ramal.

	Ramal 1 (R1)	Ramal 2 (R2)	Ramal 3 (R3)
Objetivo Humectación	Cancha NGP y camino periférico frente a cancha NGP	Cancha NGP	Cancha Colpas
Rociadores iniciales	3	6	3
Rociador cancha NGP, sector Cenizas, "Rociador Cenizas" (Rc)		1 (*)	
Rociador adicional Sector Carga tolva correctores en Cancha Colpas, "Rociador Fierrito" (Rf)		1	
Rociadores por ramal totales	3	8	3
Rociadores totales	14		

Notas

(*): No siempre operativo, depende de descarga de cenizas.

La Humectación por Canchas, se define aproximadamente³ según las expresiones y factores de proporción indicados en Tabla 6.

³ Influye con algo de incertidumbre, la operación discontinua del Rociador del sector cenizas, por eso se estima un pequeño error de cálculo, lo que hace la estimación aproximada.

Tabla 6. Expresiones y factores para determinar consumos por Canchas Colpas y NGP.

Cancha	Expresión	Cantidad de regadores por Cancha estimados	Proporción
NGP	R1+R2-R2A2 (Rf)	10	10/14= 0.7143
Colpas	R3+R2A2(Rf)	4	4/14=0.2857

Consumo de agua

La información de consumo de agua por ramal recibida es la siguiente:

Consumo por ramales:

Tabla 7. Consumos de Agua por Ramal, totalizados por mes.

MES/TOTAL	Ramal 1 m3	Ramal 2 m3	Ramal 3 m3	Consumo x mes m3
Octubre	-	-	-	-
Noviembre	71,8	61,4	36,8	170,0
Diciembre	345,8	467,7	280,6	1.094,2
Enero	377,0	494,0	296,4	1.167,4
Febrero	186,9	319,5	191,7	698,1
Marzo	172,2	376,7	226,0	775,0
Abril	47,2	113,0	67,8	228,0
Mayo	44,9	57,8	34,7	137,4
Junio	9,7	22,0	13,2	44,9
Julio	0,4	2,4	1,5	4,3
			TOTAL	4.319

Aplicando los factores anteriormente calculados para determinar los consumos por canchas NGP y Colpas, se obtiene los valores indicados en la Tabla 8.

Tabla 8. Consumos mensuales reales de Canchas Colpas y NGP.

MES/TOTAL	Ramal 1 m3	Ramal 2 m3	Ramal 3 m3	Sumo x mes	Consumo Cancha NGP	Consumo Cancha Colpas
Octubre	-	-	-	-		
Noviembre	71,8	61,4	36,8	170,0	121,4	48,6
Diciembre	345,8	467,7	280,6	1.094,2	781,6	312,6
Enero	377,0	494,0	296,4	1.167,4	833,9	333,6
Febrero	186,9	319,5	191,7	698,1	498,7	199,5
Marzo	172,2	376,7	226,0	775,0	553,6	221,4
Abril	47,2	113,0	67,8	228,0	162,8	65,1
Mayo	44,9	57,8	34,7	137,4	98,2	39,3
Junio	9,7	22,0	13,2	44,9	32,1	12,8
Julio	0,4	2,4	1,5	4,3	3,0	1,2
			TOTAL	4.319,3	3.085,2	1.234,1
			TOTAL			4.319,3

Tabla 9. Información de aspersores recibida por ramal y por flujómetro.

	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3
N° Aspersores por ramal	3	5	3
Total por flujómetro	3	8	8

Notas:

1. Para completar el consumo anual de agua, se debió estimar los consumos para los meses que faltan en los registros informados (caso de los meses de agosto, septiembre y octubre de 2018), se entiende que este vacío de datos es debido a la fecha de inicio del sistema automático.
2. Es posible sin embargo, completar el registro anual con los meses correspondientes del año 2019, aún en curso en el caso del mes de octubre.

Tabla 10. Consumo agua Canchas Colpas y NGP (Ramales 1, 2 y 3), con estimación para los meses de agosto, septiembre y octubre.

MES/TOTAL	Ramal 1 m ³	Ramal 2 m ³	Ramal 3 m ³	Consumo x mes m ³	Consumo Cancha NGP	Consumo Cancha Colpas
Octubre	-	-	-	-		
Noviembre	71,8	61,4	36,8	170,0	121,4	48,6
Diciembre	345,8	467,7	280,6	1.094,2	781,6	312,6
Enero	377,0	494,0	296,4	1.167,4	833,9	333,6
Febrero	186,9	319,5	191,7	698,1	498,7	199,5
Marzo	172,2	376,7	226,0	775,0	553,6	221,4
Abril	47,2	113,0	67,8	228,0	162,8	65,1
Mayo	44,9	57,8	34,7	137,4	98,2	39,3
Junio	9,7	22,0	13,2	44,9	32,1	12,8
Julio	0,4	2,4	1,5	4,3	3,0	1,2
Agosto				4,3	3,1	1,2
Septiembre				45,0	32,1	12,9
Octubre				170,0	121,4	48,6
			TOTAL	4.538,6	3.241,9	1.296,7
			TOTAL			4.538,6

Notas:

1. Para la estimación se ha reproducido los consumos de los meses contiguos (agosto y octubre) y se ha estimado interpolando gráficamente el consumo del mes de septiembre. De esta manera se asegura una estimación conservadora, probablemente algo sobreestimada y que respeta una curva de consumo anual establecida mayoritariamente con datos medidos.

Tabla 11. Estimación consumo anual Cancha Puzolana.

Descripción	Sólo aspersores							Aspersores+ Manguera			Total
	Fecha	Días /año sin lluvia (estimado)	Aspersores	lpm	min	l	m ³	lpm	min	l	m ³
Prueba medida	20-ago-19	1	4 de 5	150	30	4.500	4,5	200	30	6.000	6
Estimación días sin lluvia	10-sep-19	305									
Estimación consumo anual menor											1.830
Estimación mayor diaria		1	5 de 5	187,5	60	11.250	11,25	237,5	60	14.250	14,25
Estimación mayor verano	10-sep-19	90	5 de 5	187,5	60	1.012.500	1.012,5	237,5	60	1.282.500	1282,5
Estimación media primavera		80		187,5	45	675.000	675	237,5	45	855.000	855
Estimación menor invierno y otoño		135		187,5	30	759.375	759	237,5	30	961.875	961,9
Total estimado anual ponderado		305			187,5			2.447	237,5		

Notas

1. En la prueba medida, se informa el consumo de 30 min en el día del total de aspersores operativos (4 de 5) y se informa el consumo de aspersores + manguera solo en lpm, no en consumo total diario, razón por la cual los valores de las últimas 3 columnas se destacan indicando que se trata de valores estimados.
2. El consumo anual ponderado se obtiene estimando tiempos diferentes de aspersión para el verano, el otoño e invierno y para la primavera y se ha supuesto a los 5 aspersores operativos. Se ha supuesto que el riego con manguera toma la misma cantidad de tiempo que el tiempo de aspersión.
3. La estimación de consumo en estas condiciones se considera conservadora, probablemente algo sobre-estimada, por lo que resulta de todas maneras muy conveniente instalar un flujómetro sólo para el consumo de esta cancha y comenzar a llevar el registro.

Consumo Estimado de Agua Total Anual

Sobre la base de la información de consumo de agua informado en las tablas anteriores, mediante una metodología de datos recientemente medidos gracias al sistema actual automático de control de emisiones, el cual fue diseñado con una lógica del cuidado del recurso hídrico, los datos colectados en el transcurso del presente año y fines del año 2018 y de datos estimados en forma conservadora, permiten presentar el consumo total anual de agua para mitigación de emisiones fugitivas planta La Calera según el alcance del proyecto. Dicha estimación total anual de consumo se presenta a continuación en la Tabla 12:

Tabla 12. Estimación 2019 de consumo de agua en prevención de emisiones fugitivas anual en las canchas del proyecto.

Cancha	Consumo (m ³ /año)
NGP	3.241,9
Colpas	1.296,7
Puzolana	3.099,4
Total	7.638,0

Los resultados de dicha estimación superan ampliamente la estimación realizada en el estudio del año 2018, la cual fue conservadora en la reducción de consumo de agua realizada en el año 2018, aun en ausencia del sistema automático, tal como se puede presentar en los datos que se informan a continuación en la Tabla 13:

Tabla 13. Comparación de consumos de agua para control de emisiones según el año en que se practicó el control y se estimó consumos futuros.

Consumo escenario 2016-2017	Estimación 2018 conservadora de consumo para escenario sistema implementado	Estimación actual de consumos sobre mediciones y estimaciones más ajustadas
m ³ /año	m ³ /año	m ³ /año
14.354,0	12.494,0	7.638,0
Reducción	12,96%	46,79%



Los resultados indicarían con una alta probabilidad, que existe un notable éxito en el control de la prevención de las emisiones fugitivas de Planta La Calera desde el punto de vista del consumo del recurso hídrico, debido principalmente a la implementación del sistema automático de humectación con su particular lógica de control, basada en pulsos muy breves de consumo de agua.

La estimación actual es de una reducción de más de 3 veces lo que se estimó reducir en términos de consumo, **es decir, una efectividad superior al 300%**, (361% superior) con respecto al objetivo tercero del Proyecto.



3.3. Efectividad de Reducción de Emisiones Fugitivas

Información de contexto relevante de considerar para evaluar la efectividad de las medidas

En la dinámica normal de la actividad industrial es común encontrar modificaciones de *layout* o de condiciones de operación, especialmente cuando transcurren períodos de cierta extensión de tiempo, tal es el caso entre los años 2018 y 2019 en la operación de graneles de planta La Calera.

Estas modificaciones han causado algunos cambios en la operación e instalaciones de la planta, transformando algunas condiciones de trabajo entre el escenario proyectado a diciembre de 2018 y el escenario de verificación 2019 actual. Plazo este último en el que se puede verificar el cumplimiento total de las medidas comprometidas.

En el escenario proyectado a diciembre de 2018, aparte de la expectativa de verificar la implementación del 100% de las medidas de mitigación comprometidas y la identificación de variaciones normales de la cantidad de manejo de graneles, no se esperaba observar otras modificaciones, de manera que se esperaba que la verificación sólo se remitiría a recalcular, para el caso de la estimación de las emisiones fugitivas, modificando los tonelajes de manejo de graneles, pero básicamente con la misma operación y condiciones operacionales.

En la práctica, Melón por motivos ambientales y operacionales, incorporó además de las medidas comprometidas, ya informadas en la primera parte del presente informe, tres medidas de fondo adicionales con el ánimo de mejorar su desempeño en estas materias. Tales medidas son:

- a) El cambio del acceso y lugar de acopio de Petcoke, cambiándolo de su ubicación anterior al final de la Nave NGP, a otra sección anterior de la misma Nave. Dicha medida incluyó el cierre parcial de pasillos, debido a que previamente en este sector, se producía una importante circulación de aire.

Esta medida favorece adicionalmente al proyecto de reducción de emisiones fugitivas de la siguiente manera:

- b) Evitando la descarga temporal de camiones de Petcoke en la intemperie, en lo que era el área de acceso a la zona de acopio o Cancha de Petcoke anterior (que quedaba ubicada dentro de la nave NGP).
- c) Disminuyendo las corrientes de aire en zonas de acopio internas de la Nave, pero además disminuyendo la circulación de aire en el sector exterior inmediato de la Nave NGP. Dicha disminución de las corrientes de aire exteriores y adyacentes a la Nave se traducen en beneficio adicional, además, para la zona de acceso al acopio de la Cancha de Clinker, donde se pudo apreciar una menor circulación de aire, algo que se pudo constatar en el presente trabajo de verificación.
- d) La pavimentación del acceso al Buzón de carga de yeso, y desde éste a la zona de apilamiento en la cancha de Yeso respectiva.

- e) Eliminación del acopio de Cenizas en la Cancha Colpas, cambiándose a acopio directo a la Nave NGP, por el lado de cancha NGP.

Considerando lo anterior, a continuación en la Tabla 14, se presentan tanto los aspectos favorables, como los desafíos ya implementados que se desprenden de los cambios introducidos.

Tabla 14. Efectos de Medida: "Cambio del Acopio de Ceniza".

N°	Cambio de acopio de ceniza	Aspecto favorable	Implicancia en emisiones fugitivas totales	Desafío nuevo (ya desarrollado o implementado)
3	Cambio del Acopio de cenizas desde cancha Colpas a Nave NGP (medida ya considerada en la proyección del escenario a dic 2018)	Eliminación del acopio de cenizas al exterior en Cancha Colpas.	✓ (Reduce emisiones fugitivas) por <u>eliminación de faenas de descarga de ceniza desde camiones en cancha Colpas.</u>	-
			✓ (Reduce emisiones fugitivas) por <u>eliminación de faena de Carga y descarga y transporte de cenizas por cargador frontal entre pila de cenizas y buzón de carga de carga (buzón de correctores).</u>	-
			(Reduce emisiones fugitivas) por <u>eliminación del acopio de cenizas en esta cancha.</u> Eliminándose la erosión eólica respectiva.	-
			× (Aumenta emisiones fugitivas) por resuspensión de material	Bajar la cantidad de material particulado fino que sedimenta sobre la cancha NGP frente a acceso de acopio de cenizas.

			<p>particulado derramado en acceso actual a Nave NGP.</p>	<p>Medida Implementada: Se instaló uno de los aspersores del sistema automático de humectación justamente sobre este sector de la Nave. Esta medida se maximiza en la medida que el espesor de la ceniza acumulada se mantenga lo más bajo posible o reforzando la humectación con partida manual.</p>
--	--	--	---	--

Para obtener una percepción global neta de todos los efectos, tanto positivos o favorables como los desfavorables, y con ello evaluar su impacto en la estimación actual de la emisión fugitiva se debió incorporar cada uno de estos cambios en los parámetros de simulación.

Específicamente se debió obtener las nuevas cantidades o valores asociados a los parámetros de control. Para ello, se calcularon los siguientes datos:

- Factores de atenuación nuevos del viento para las nuevas áreas de acopio o de acceso a acopio que se modificaron, particularmente para el nuevo acceso a Cancha Petcoke y para el mismo acceso de cancha Clinker, pero en condiciones de una menor circulación de viento, debido a los cierres practicados en la nave en el sector antiguo de acopio de Petcoke.
- Determinación de carga de material particulado sedimentado sobre superficies pavimentadas en accesos donde no es posible humectar.
- Actualización del movimiento de graneles a la situación actual.

Verificación de factores de atenuación

En el desarrollo de la verificación actual, a partir de entrevistas realizadas, constatación en terreno y toma de conocimiento del nuevo status de acceso de acopio temporal de Clinker y el nuevo acceso a cancha de Petcoke, se sugirió desarrollar dos campañas de medición breve de viento, para estimar nuevos factores de atenuación con respecto del viento medido en altura en la estación meteorológica denominada "Meteorología". A partir de esto último se realizó una corrección de los valores de velocidad media de viento para la estimación de emisiones fugitivas en los nuevos accesos a las canchas estableciéndose lo siguiente:

- En el acceso al acopio auxiliar de Clinker, la velocidad del viento disminuye, por efecto secundario sobre este sector, debido a los cierres realizados sobre el área actual y anterior del sitio de Petcoke. En el acceso actual al acopio de Petcoke, la velocidad del viento aumenta, principalmente porque ese acceso queda más abierto e inmediato con respecto del acceso de camiones a Planta 2.

En la siguiente tabla se presentan los factores anteriormente determinados para cada una de las canchas o áreas de acceso y su actualización para los valores actuales corregidos.

Tabla 15. Actualización de Factores de atenuación de la velocidad del viento.

Cancha o acceso	Cancha NGP	Cancha Colpas	Cancha Clinker	Acceso cancha Petcoke	Acceso Yeso	Cancha Puzolana
Relación de atenuación entre Valores medios Vms a Vma (**)	0,54	0,34	0,57	0,3	0,43	0,66
Valores proporción estimados en 2019	0.54	0.34	0.31	0.35	0.43	0.66
Variación %			-69%	+16.7		
Efecto sobre la estimación anterior	Se usa el mismo valor	Se usa el mismo valor	Disminuyó un 69%	Aumentó un 17%	Se usa el mismo valor	Se usa el mismo valor

Los resultados indican que:

- Para Cancha Clinker el factor de proporcionalidad del viento disminuyó un 69% con respecto del valor de proporcionalidad anterior estimado en 2018 (entre el valor medio de superficie y el valor medio de altura), es decir, en valores medios, el viento en superficie era un 57% del valor en altura en valores medios, ahora el valor en superficie se estima en un 31% del mismo valor medido en altura.



Resultados de la verificación de las emisiones en el escenario actual con respecto del escenario proyectado a diciembre de 2018

La reducción de emisiones a partir de diciembre de 2018, se debe a la implementación de todas las medidas propuestas actuando en forma simultánea, las que corresponden a: la humectación diaria, cuando corresponde, y mejorada tanto en su mecanización como automatización, las medidas implementadas sobre las canchas Colpas y NGP, así como en el sector del camino perimetral que las conecta, la humectación del material remanente al barrer en las ramplas de camiones planos recién descargadas de material en canchas a la intemperie, la humectación mecanizada y manual en el sector de cancha Puzolana, el cambio del acopio de cenizas desde Colpas a NGP, el cierre del sector NE (Nor-Este) de la Nave NGP, un acceso más limpio de material derramado al sector de acopio temporal de Clinker dentro de la Nave, una mayor atenuación del viento en el sector de Clinker con respecto del viento de altura, la eliminación de la cancha de Petcoke anterior. No obstante, se observan algunos elementos que han tenido efectos negativos tales como un leve aumento de la ventilación en el sector de acceso al acopio de petcoke actual y las condiciones de derrame en los caminos pavimentados ya comentados en el título anterior.

Con todas las medidas implementadas se observa que se dispone hoy día de distintas estrategias para el control de emisiones:

- Estrategia vía humectación en superficies,
- Estrategia de humectación previa al barrido de ramplas,
- Estrategia de reducción de emisiones vía atenuación del viento mediante el cierre de áreas.

Las siguientes tablas muestran el estado de emisiones, tanto proyectado como el actual:

Tabla 16. Aporte porcentual absoluto de las emisiones de cada Cancha en el escenario previsto a partir de diciembre de 2018, suponiendo una baja carga de *Silt* en los caminos de entrada a cancha Clinker.

Cancha	Fecha	Emisión mensual (ton MP/mes)	Participación porcentual
Calizas	Dic-18	0,19	7,11%
Colpas	Dic-18	0,15	5,59%
P. Clinker	Dic-18	1,91	69,64%
Petcoke	Dic-18	0,02	0,74%
Puzolana	Dic-18	0,11	4,07%
Yeso	Dic-18	0,24	8,80%
NGP S. Calizas	Dic-18	0,11	4,04%
Total		2,74	100.00%

Los valores se exhiben igualmente en el siguiente gráfico:

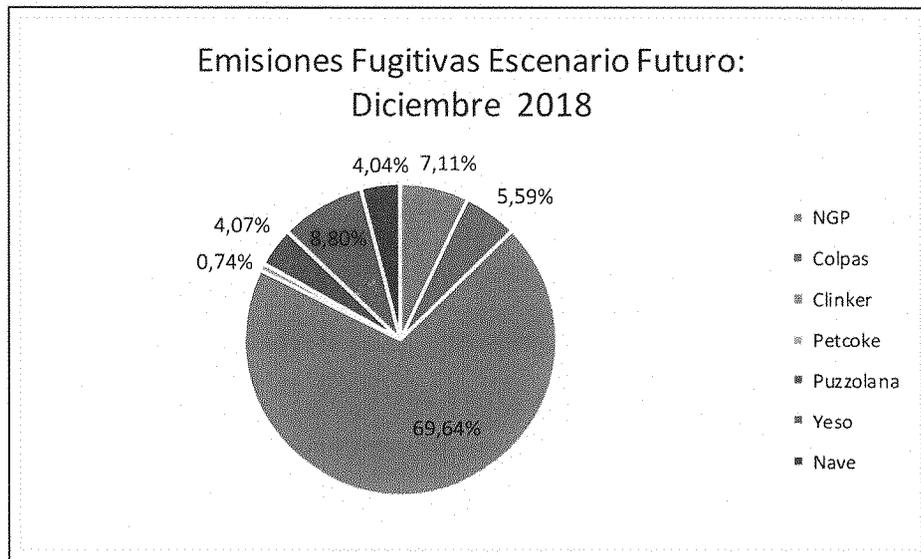


Figura 4. Desglose de la Emisión fugitiva total en el escenario previsto a diciembre de 2018, suponiendo se haya eliminado el material particulado fino en el suelo.

Tabla 17. Aporte porcentual absoluto de las emisiones de cada Cancha en el escenario de verificación actual utilizando datos reales de manejo de graneles ocurridos en julio de 2019, verificándose una menor carga de *Silt* en los caminos de entrada a cancha Clinker.

Cancha	Fecha	Emisión mensual (ton MP/mes)	Participación porcentual
Calizas	jul-19	0,47	9,65%
Colpas	jul-19	0,06	1,26%
Clinker	jul-19	1,31	27,15%
Petcoke	jul-19	2,11	43,79%
Puzzolana	jul-19	0,06	1,29%
Yeso	jul-19	0,69	14,24%
NGP S. Calizas (Nave)	jul-19	0,13	2,63%
		4,83	100,00%

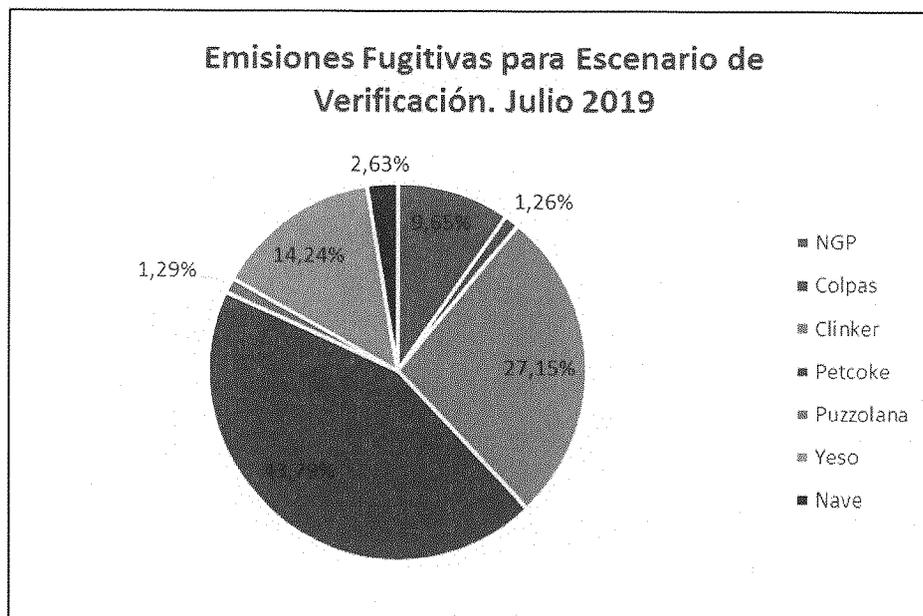


Figura 5. Desglose de la Emisión fugitiva total en el escenario de Verificación, julio de 2019 (sin eliminar el material particulado fino depositado en el suelo en las áreas de acceso a Petcoke y caminos pavimentados de Cancha Yeso).



A partir de los resultados presentados, es posible establecer que existe una emisión levemente inferior al doble de la emisión total fugitiva proyectada a diciembre de 2018. Se observa, que el acceso a la cancha de Petcoke es responsable de casi el 44%. Es decir, la emisión fugitiva previa a la entrada a la cancha de Petcoke es cercacana a la mitad de todas las emisiones de la planta.

Si se comparan las emisiones fugitivas ahora normalizadas por el volumen de graneles manejados en forma mensual, el resultado es el siguiente. Ver Tabla 18 y Figura 6.

Tabla 18. Indicador de emisiones fugitivas por tonelada de graneles movidas.

Período de Evaluación	Indicador de Emisiones g MP/ton MMPP
Nov-16	41,396
Dic-16	42,363
Ene-17	42,757
Feb-17	83,325
Mar-17	37,195
Abr-17	47,494
May-17	40,388
Jun-17	73,928
Jul-17	36,002
Ago-17	37,378
Sep-17	37,359
Oct-17	35,246
Escenario-12-2018	19,949
Verificación 07-2019	24,199
promedio 2016-2017	46,236
Escenario 2018	19,949
Reducción (%)	56,85%
Verificación 2019	24,20
Reducción (%)	47,66%

En la tabla anterior, podemos observar como se ha reducido en la actualidad el Indicador de Emisiones (ver valor de verificación 2019), logrando bajar de un promedio histórico reciente de 46,2 gramos de material particulado emitido por tonelada a un valor de 24,2 gramos de material particulado, lo que corresponde a una reducción de casi el 50% del valor histórico promedio reciente (47,66%).

En la Figura 6 se aprecia el nivel de emisión total para el mes de verificación, normalizado por el volumen de movimiento de graneles y en comparación con el mismo índice en forma histórica y en particular con respecto del escenario futuro.

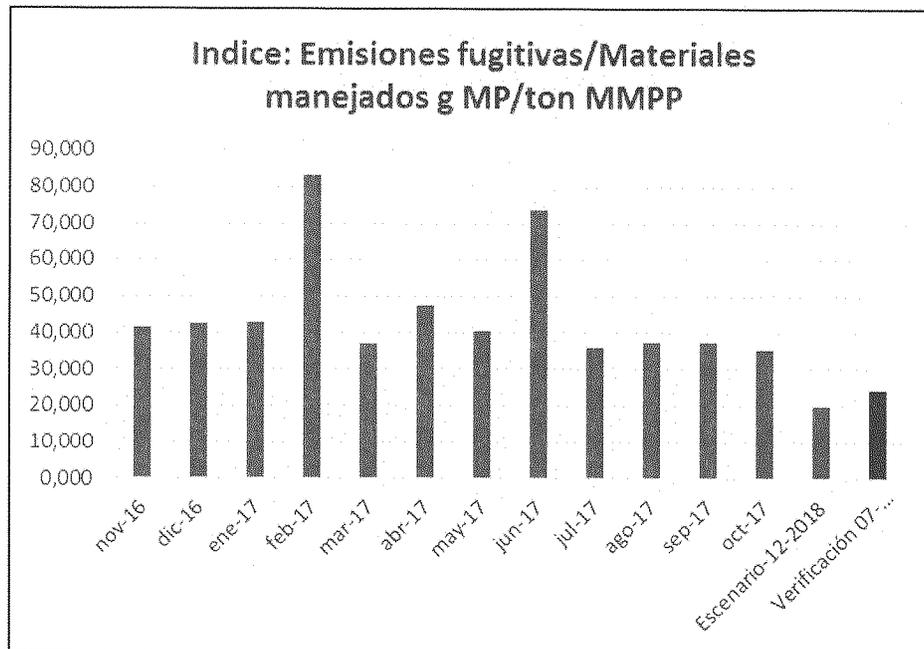


Figura 6. Emisión fugitiva en el escenario de verificación.



4. CONCLUSIONES

Se cumple en un 100% con la implementación física de las medidas comprometidas.

Se cumple con un 95.32% de la reducción de emisiones inicialmente estimada en una reducción del 50% de las emisiones fugitivas, normalizadas por tonelaje de graneles manejados en la planta con respecto de sus emisiones fugitivas históricas, pese a los cambios de *lay-out* y de operación con respecto del escenario histórico.

Se destaca tanto la alta calidad como el esfuerzo de la implementación del nuevo sistema de humectación, por parte del equipo de Melón, tanto en su mecanización como en el nivel de automatización.

Se cumple con el registro automático del consumo de agua en las canchas comprometidas de humectación automática (Canchas Colpas y Calizas).

Se cumple con 361% de reducción del consumo de agua, observándose que se supera ampliamente con la expectativa de reducción, sobre la base de las estimaciones realizadas, verificándose el éxito del sistema automático implementado de humectación para prevenir las emisiones fugitivas.

Los resultados globales de las estimaciones de emisiones fugitivas indican en general, una reducción de éstas, normalizada por el tonelaje de movimiento de graneles, con respecto del mismo indicador promedio histórico observado desde noviembre de 2016 y hasta octubre 2017 de un 47.66 %, el cual corresponde a una reducción prácticamente del 100% de la reducción inicialmente estimada. Reducción de emisiones, explicada en la implementación conjunta de todas las medidas comprometidas.



5. *REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS*

AP-42 EPA

Estudio Ecotecnos "Cálculo De Emisiones Fugitivas – Cementos Melón, Planta La Calera", Julio 2017.

Antecedentes proporcionados por Melón S.A.