



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

**MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD Y EL USO
DE SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURA DE LA
CALIDAD:**

**ESTUDIO DE CASO EMPRESA CICLO – MP
RECICLA S.A.C.**

DOCUMENTO DE TRABAJO

20 DE FEBRERO DE 2024
INACAL – OFICINA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS
Calle Las Camelias 817, San Isidro - Lima

MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD Y EL USO DE SERVICIOS DE INFRAESTRUCTURA DE LA CALIDAD: ESTUDIO DE CASO EMPRESA CICLO – MP RECICLA S.A.C.

Alta Dirección

César José Bernabé Pérez
Presidente Ejecutivo del INACAL

Elaboración

Walter Ramírez Eslava¹
Yanela Camila Torres Leonardo²

Revisión

Luis Limachi Huallpa³

© **INACAL 2024**

Editado por: Instituto Nacional de Calidad – INACAL

Calle Las Camelias 817, San Isidro Lima – Perú

Teléfono: +51 614 8820

<http://www.inacal.gob.pe/>

La Oficina de Estudios Económicos del Inacal agradece al señor Roger Mori Pizzino, gerente general de la empresa CICLO – MP Recicla SAC, por su disposición y colaboración en brindar la información oportuna y los datos necesarios para el desarrollo del presente estudio de caso. Asimismo, agradecemos los comentarios de Alexis Valqui a las versiones iniciales del estudio.

¹ Jefe de la Oficina de Estudios Económicos

² Practicante de la Oficina de Estudios Económicos

³ Ejecutivo de la Oficina de Estudios Económicos



CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	1
INTRODUCCIÓN	3
I. INFORMACIÓN GENERAL	5
1.1. Datos generales de la empresa.....	5
1.2. Principales productos ofertados	6
1.3. Principales clientes.....	8
1.4. Registros y declaraciones ambientales de la empresa	8
II. PROCESO PRODUCTIVO DE CICLO – MP RECICLA SAC	9
2.1. Proceso de tratamiento de RCD.....	9
2.2. Proceso de fabricación de adoquines	10
III. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD Y USO DE LA IC	13
3.1. Pasos de la metodología.....	13
3.1.1. Paso 1. Contextualización	13
3.1.2. Paso 2. Alcance.....	14
3.1.3. Paso 3. Determinación de indicadores y recopilación de datos	14
3.1.4. Paso 4. Medición y evaluación de la circularidad	15
3.1.5. Paso 5. Uso de la infraestructura de la calidad	15
IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN CICLO – MP RECICLA SAC	16
4.1. Paso 1: Contextualización.....	16
4.2. Paso 2: Alcance	16
4.3. Paso 3: Determinación de indicadores y obtención de datos.....	16
4.4. Paso 4: Medición y evaluación de la circularidad.....	20
4.5. Paso 5: Uso de la Infraestructura de la Calidad	23
V. CONCLUSIONES	26
VI. BIBLIOGRAFÍA	28

TABLAS

Tabla 1: <i>Indicadores para medir la circularidad de la empresa CICLO - MP Recicla SAC</i>	17
Tabla 2: <i>Estimación de indicadores</i>	20

FIGURAS

<i>Figura 1: Proceso de construcción circular</i>	5
<i>Figura 2: Adoquines CICLO</i>	7
<i>Figura 3: Agregado reciclado CICLO de tipo grueso</i>	7
<i>Figura 4: Proceso de tratamiento de RCD</i>	9
<i>Figura 5: Proceso de fabricación de adoquines</i>	10
<i>Figura 6: Pasos de la evaluación de circularidad y uso de servicios de infraestructura de la calidad</i>	13
<i>Figura 7: Organigrama de CICLO - MP Recicla SAC</i>	30

ANEXOS

<i>Anexo 1: Organización de la empresa</i>	30
--	----

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<i>EC</i>	<i>Economía Circular</i>
<i>EPD</i>	<i>Environmental Product Declaration</i>
<i>EO-RS</i>	<i>Empresa Operadora de Residuos Sólidos</i>
<i>IC</i>	<i>Infraestructura de la Calidad</i>
<i>INACAL</i>	<i>Instituto Nacional de Calidad</i>
<i>ISO</i>	<i>International Standardization Organization</i>
<i>LEM</i>	<i>Laboratorio de Ensayo de Materiales</i>
<i>MINAM</i>	<i>Ministerio del Ambiente</i>
<i>MYPE</i>	<i>Micro y pequeña empresa</i>
<i>NTP</i>	<i>Norma Técnica Peruana</i>
<i>ODS</i>	<i>Objetivo de Desarrollo Sostenible</i>
<i>OEC</i>	<i>Organismo Evaluador de la Conformidad</i>
<i>RCD</i>	<i>Residuos de Construcción y Demolición</i>
<i>SAC</i>	<i>Sociedad Anónima Cerrada</i>
<i>UNI</i>	<i>Universidad Nacional de Ingeniería</i>

RESUMEN EJECUTIVO

La economía circular (EC) utiliza un enfoque sistémico para mantener el flujo circular de recursos permitiendo aumentar su valor, contribuyendo al mismo tiempo al desarrollo sostenible. A pesar de su potencial transformador, en el panorama empresarial actual son escasas las micros y pequeñas empresas (MYPEs) que han adoptado plenamente la EC en sus operaciones, siendo aún más escaso el número de empresas que adoptan prácticas circulares e integran los servicios de la Infraestructura de la Calidad (IC) en sus procesos productivos.

El presente estudio de caso, mide la circularidad en el proceso productivo de la empresa CICLO – MP Recicla SAC, perteneciente al sector de la construcción, e identifica el uso de normas técnicas, servicios de evaluación de la conformidad acreditados (ensayos de laboratorio, verificaciones, pruebas, inspecciones, certificaciones, entre otros) y, de instrumentos calibrados, para optimizar sus procesos de gestión de residuos en el contexto de la EC.

El estudio se estructuró en cinco secciones: información general de la empresa, descripción del proceso productivo, metodología, aplicación de la metodología y conclusiones. En relación a la aplicación de la metodología se consideraron la contextualización, alcance, determinación de indicadores y obtención de datos, medición con evaluación de la circularidad y, por último, uso de la IC.

Respecto al paso de medición y evaluación de la circularidad en CICLO, se utilizó un grupo de indicadores pertenecientes a la norma ISO/DIS 59020. Se consideraron cinco indicadores: porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema, vida útil del producto en relación con el promedio de la industria, porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema, participación de los ingresos de los productos circulares y productividad del material circular.

El cálculo de dichos indicadores mostró que el porcentaje de insumos reciclados en relación con la producción de cada unidad de adoquín es del 78.23%. Para el indicador de vida útil, se estimó un valor igual a la unidad; sin embargo, este no es concluyente ya que se requiere que el adoquín pase por una prueba de abrasión, la cual CICLO no ha realizado debido a que en los laboratorios acreditados por Inacal el alcance es a nivel de agregados, mas no de adoquines. De igual manera, el indicador porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema toma un valor de 100%; pero, debido a que la empresa no realiza la trazabilidad de su producto, este valor no puede ser considerado.

Respecto a los indicadores económicos, se determinó que los adoquines representan el 12.84% de los ingresos totales de la empresa; de igual manera, se estimó que por cada kg de insumo lineal utilizado en la producción de adoquines se genera un ingreso circular de 2.31 soles.

En cuanto al uso de los servicios de IC para lograr la circularidad y la calidad, se estableció que CICLO utiliza dos normas técnicas: NTP 400.037:2021 para elaborar agregados reciclados y la NTP



399.611:2017/CT 1:2019 para la producción de los adoquines. Además, la empresa realiza las pruebas de ensayo correspondientes en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y cuenta con una Declaración Ambiental de Producto (EPD) para los adoquines. Referente a los servicios metrológicos,

CICLO no realiza la calibración de ninguna máquina o equipo en laboratorios acreditados; en este caso, la medición de las cantidades de los insumos se realiza por volumen, en función a información previa respecto a la densidad de los materiales.

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción desempeña un papel crucial para la economía, sin embargo, también es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos. Un desafío significativo derivado de las operaciones constructivas es la disposición adecuada de residuos de construcción y demolición (RCD), los que se caracterizan por ocupar volúmenes notoriamente considerables y, en ocasiones, presentan riesgos potenciales para el medio ambiente y la seguridad de la población.

En Lima Metropolitana es posible encontrar puntos donde los RCD han sido abandonados sin reparar en criterios ambientales. Además, en la mayoría de los casos se evidencia su disposición en las cercanías de cuerpos de agua, como mares y ríos, provocando un perjuicio ambiental significativo.

En el año 2021, Lima generó 3.5 millones de toneladas de residuos sólidos⁴. La Encuesta Nacional de Empresas⁵ reporta que el 48% de las empresas nacionales producen residuos sólidos, y apenas el 22% de ellas implementa algún mecanismo de gestión para dichos residuos. Además, solo el 15% reutiliza sus residuos en sus procesos productivos, y un escaso 7.31% aprovecha sus residuos para la elaboración de subproductos.

Este escenario se desenvuelve en un contexto en el cual solo existen nueve (9) rellenos sanitarios y dos (2) rellenos de seguridad en todo el territorio nacional. Adicionalmente, se contabilizan 28 445 instalaciones de empresas generadoras de residuos no municipales que han presentado manifiestos de residuos peligrosos. El 33.7% (9 599) de estas instalaciones se encuentran en Lima, lo que representa una amenaza palpable para la calidad de vida de la población.

En este contexto, mecanismos para disminuir los residuos sólidos toman relevancia. A nivel internacional existe una corriente que promueve la economía circular (EC), modelo de producción y consumo que reutiliza, repara, renueva y recicla materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para recuperar, retener o crear un valor añadido⁶. Este proceso puede ser facilitado por los servicios de infraestructura de la calidad (IC).

La articulación efectiva de la IC con la EC es un paso fundamental hacia un modelo sostenible y responsable. La implementación de normas técnicas en el diseño y producción permitiría una planificación más eficiente de los recursos y la optimización de procesos, favoreciendo la circularidad de los materiales. Los laboratorios acreditados desempeñarían un papel esencial al garantizar la calidad de los materiales secundarios y productos mediante pruebas y evaluaciones, fortaleciendo la confianza en los procesos de

⁴ Lima genera 9 818.67 toneladas al día (Fuente: Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - MINAM)

⁵ Desarrollada por el INEI por encargo del Ministerio de la Producción

⁶ Fuente: ISO/DIS 59004



reutilización. Asimismo, la metrología, al proporcionar mediciones precisas y estandarizadas, aseguraría la coherencia en los estándares de producción tanto para materiales como productos. La importancia de esta integración radica en su capacidad para fomentar la eficiencia, reducir residuos y promover prácticas industriales responsables, contribuyendo así a la construcción de una economía más sostenible y amigable con el medio ambiente.

En el marco de lo mencionado, el objetivo de este estudio de caso es medir la circularidad en el proceso productivo de la empresa CICLO – MP Recicla SAC, perteneciente al sector de la construcción, e identificar el uso de normas técnicas, servicios de evaluación de la conformidad acreditada (ensayos de laboratorio, verificaciones, pruebas, inspecciones, certificaciones, entre otros) y, de instrumentos calibrados, para optimizar sus procesos de gestión de residuos en el contexto de la EC.

I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Datos generales de la empresa

CICLO es el nombre comercial de la empresa MP Recicla SAC, la cual se constituyó en 2015 y comenzó sus operaciones en el año 2020. Su estructura organizativa se compone de una gerencia general y dos jefaturas principales. CICLO – MP Recicla SAC opera con un equipo compuesto por 11 empleados directos, clasificando como una MYPE⁷.

La empresa cuenta con una planta de producción en el distrito de Cieneguilla, en donde lleva a cabo su principal actividad económica que implica la gestión y valorización de RCD para transformarlos en materiales destinados a la construcción. Según el portal web de la empresa, estos nuevos materiales poseen las mismas características técnicas⁸ y un precio promedio equivalente a los materiales convencionales.

En el ámbito económico, CICLO “busca maximizar su impacto mediante una eficiencia óptima en el uso de materiales e insumos; de igual manera considera el aspecto ambiental, ya que la principal materia prima utilizada en su producción proviene del reciclaje del RCD”⁹.

De acuerdo con información de la empresa, en el 2022 recicló aproximadamente 40 mil toneladas de RCD lo que, según sus estimaciones, resultó en una reducción de emisiones de CO₂ de alrededor de 1,128 toneladas, tomando en cuenta las emisiones por el transporte del RCD. Asimismo, considera que tiene un enfoque social pues aquellos residuos que no ingresan al proceso productivo de CICLO, como plásticos, metales, madera, cartón y papel, se destinan en forma de donaciones a Asociaciones de Recicladores.

El proceso de construcción circular tiene el propósito de reintroducir materiales utilizando los desechos generados por la misma industria. Este empieza con la recolección de RCD, el cual es llevado a la planta de CICLO en donde se transforma en lo que la empresa denomina un “eco material”, específicamente en un “eco adoquín”, y finalmente, vuelve a la industria como un insumo para las obras o construcciones¹⁰; dicho proceso se ilustra en la Figura 1.

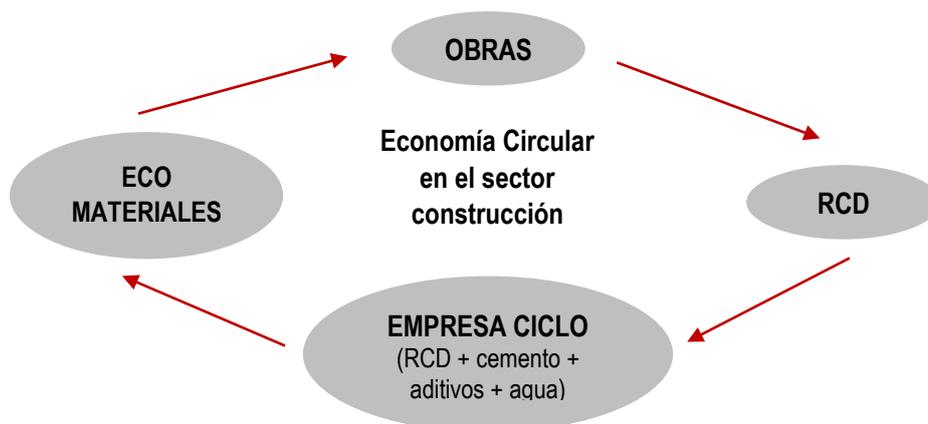
⁷ Para mayor detalle sobre la estructura organizativa de la empresa CICLO revisar el Anexo 1.

⁸ La vida útil del adoquín no debe considerarse en esta afirmación ya que no es posible estimar su valor debido a la inexistencia de pruebas de abrasión con dicho alcance.

⁹ Fuente: CICLO – MP Recicla (2023)

¹⁰ Fuente: MP Recicla (2022) <https://youtu.be/Xkwu2zclq7c?si=jeejfbBwkVgl0Dzz>

Figura 1: Economía circular en el sector construcción



Adicionalmente, según el portal web de la empresa este proceso está alineado con cuatro objetivos de desarrollo sostenible (ODS): industria, innovación e infraestructura (ODS 9), ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11), producción y consumo responsables (ODS 12) y acción por el clima (ODS 13).

1.2. Principales productos ofertados

En la actualidad, CICLO – MP Recicla SAC se enfoca principalmente en la producción de “eco adoquines” para pavimento y agregados reciclados.

El concepto de “eco adoquín” se emplea de diversas maneras en el mercado. En algunos casos, se utiliza para describir adoquines que se destacan por permitir el crecimiento de césped entre sus huecos, facilitando la absorción de agua y contribuyendo así a la recarga de las aguas subterráneas¹¹. En otras situaciones, se refiere a adoquines fotocatalíticos, fabricados con materiales tecnológicos capaces de eliminar el óxido de nitrógeno¹². En el contexto de la empresa CICLO, el término “eco adoquín” se adopta porque la base de estos adoquines se compone de agregados reciclados provenientes de RCD¹³.

Adicionalmente, según la investigación realizada, no existe una norma técnica que mencione el término “eco adoquín”; por tal motivo, CICLO usa como referencia la NTP 399.611:2019/CT 1:2019 que define a los adoquines como piezas de concreto simple prefabricados, los cuales son producidos en tres categorías según su aplicación: peatonal, tránsito vehicular ligero y tránsito vehicular pesado. El adoquín tipo I está diseñado para uso peatonal, con una altura de 4 cm y una resistencia de 290 kg/cm². El adoquín tipo II es adecuado para uso vehicular ligero, con una altura de 6 cm y una resistencia de 380 kg/cm². Por último, el adoquín tipo III es idóneo para uso vehicular pesado, con una altura de 8 cm y una resistencia de 510

¹¹ Fuente: Portal web Blokitubos (2023) <https://www.blokitubos.com/productos/eco-adoquin/>

¹² Fuente: Portal web Prefabricados de la Jara (2023) <https://www.prefabricadosjara.com/adoquines-de-hormigon-ecologico-efecto-fotocatalitico/>

¹³ Fuente: CICLO – MP Recicla (2018)

kg/cm².¹⁴ Dada la falta de estandarización en la terminología, en lo sucesivo, utilizaremos simplemente la palabra adoquín para referirnos a este producto.

Figura 2: Adoquines CICLO



Además de este producto, la oferta de la empresa también está compuesta por agregados reciclados elaborados con RCD, los cuales se caracterizan por ser un material granular que ha sido desviado de la corriente de desechos sólidos y transformado para su uso como materia prima, este ofrece una alternativa viable para reemplazar a los agregados naturales en aplicaciones no estructurales. Los agregados se producen de tres tipos: fino (0 – 1.18 mm), intermedio (1.18 – 5 mm) y grueso (5 – 10 mm)¹⁵. Según información de la empresa, el agregado reciclado que elaboran es apto únicamente para aplicaciones no estructurales.

Figura 3: Agregado reciclado CICLO de tipo grueso



¹⁴ Cabe precisar que los requisitos de los adoquines, respecto a su altura y resistencia, están alineados con la Norma TH010 del Reglamento Nacional de Edificaciones, tal como se menciona en la NTP 399.611:2019/CT 1:2019.

¹⁵ Fuente: NTP 400.037 (2021)

1.3. Principales clientes

Según el portal web de la empresa, CICLO cuenta con una variada cartera de clientes que son líderes en diversos sectores económicos y que cumplen un rol de manera directa o indirecta en la generación de RCD o en la utilización de materiales de construcción en sus actividades comerciales. Entre estos clientes se encuentran empresas dedicadas a la construcción, como Mota Engil, Flesan, Besco y Cobra; empresas del sector energético, como Perú LNG y Equans; y empresas del sector químico, como Master Builders Solutions.

Adicionalmente, la gerencia afirma haber establecido convenios con las principales empresas a nivel nacional encargadas de la distribución de materiales de construcción a gran escala. Estos acuerdos tienen como objetivo promover y comercializar sus productos (adoquines y agregados reciclados) en la plataforma virtual y en las tiendas físicas de estas empresas¹⁶.

1.4. Registros y declaraciones ambientales de la empresa

Desde que inició sus operaciones en 2020, CICLO se encuentra inscrita en el Registro Autoritativo administrado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) como una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS), lo cual le permite desarrollar sus actividades de manera legal en el sector de gestión de residuos sólidos no peligrosos¹⁷.

En 2023, CICLO – MP Recicla SAC obtuvo una Declaración Ambiental de Producto (EPD, por sus siglas en inglés) por The International EPD System. “La EPD permite reportar datos comparables, objetivos y verificados por terceros que demuestran el impacto ambiental de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Esta Declaración señala el compromiso de un productor de medir y reducir el impacto ambiental de sus productos y servicios e informar estos impactos de una manera transparente, a la par que permite cumplir con los ODS”¹⁸.

Contar con una EPD permite a las empresas reforzar su credibilidad y brindar a los clientes la confianza en la transparencia de los procesos; sin embargo, no requieren el cumplimiento de criterios ambientales preestablecidos, por lo cual que un producto o servicio presente una DAP no implica que sea preferible ambientalmente¹⁹. En el caso de CICLO, la gerencia informa que es la única empresa productora de adoquines que cuenta con esta certificación ²⁰.

¹⁶ Fuente: Portal web CICLO (2023) <https://ciclo.com.pe/>

¹⁷ Fuente: MINAM (2023)

¹⁸ Fuente: Portal web EPD (2023) <https://www.environdec.com/home>

¹⁹ Fuente: Esslinger et al. (2023)

²⁰ Inacal no tiene ningún acuerdo de reconocimiento con esta entidad.

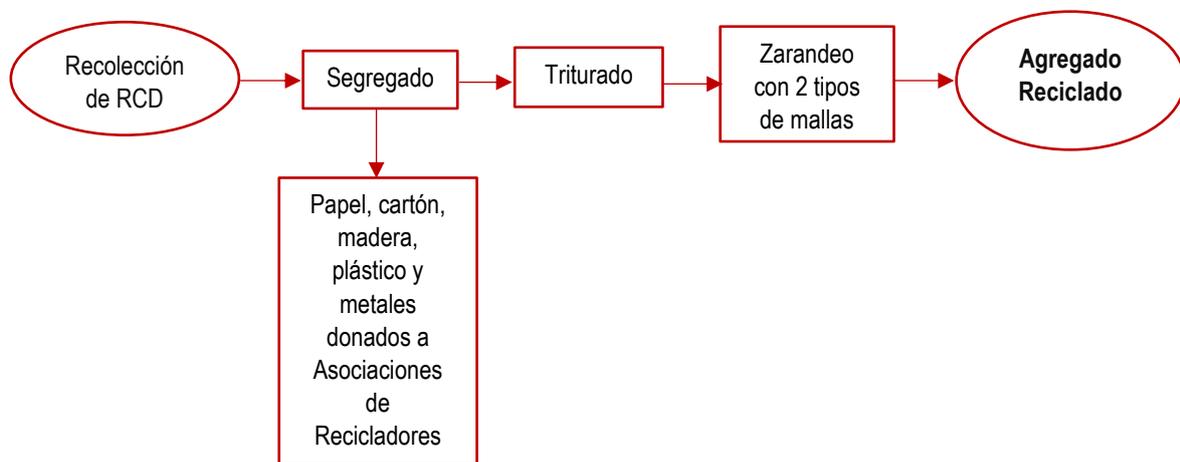
II. PROCESO PRODUCTIVO DE CICLO – MP RECICLA SAC

La empresa CICLO – MP Recicla SAC divide el proceso productivo de un adoquín en dos líneas productivas: proceso de tratamiento de RCD y proceso de fabricación de adoquines, ambas operando de manera interconectada.

2.1. Proceso de tratamiento de RCD

De acuerdo con la empresa, en esta línea productiva se lleva a cabo las etapas de recolección de RCD, segregación de materiales, triturado y zarandeo, obteniendo como producto final de este proceso tres tipos de agregados reciclados (fino, intermedio y grueso). Estos son productos versátiles que posteriormente CICLO emplea en la elaboración de los adoquines.

Figura 4: Proceso de tratamiento de RCD



a) Recolección de RCD

La fase inicial del proceso productivo de los adoquines se centra en la recolección de RCD los cuales provienen de diversas fuentes, incluyendo obras de construcción en curso, demolición de edificios antiguos y proyectos de renovación. Esta fase se adapta de manera flexible al número de pedidos y proyectos en curso que tenga CICLO – MP Recicla SAC para asegurar que se recojan únicamente los volúmenes necesarios, evitando así la generación de excedentes²¹.

b) Segregado

Una vez que el RCD llegan a la planta CICLO, se somete a un minucioso proceso de segregación. En esta fase, se realiza la separación de diversos tipos de materiales presentes en los residuos, que incluyen hormigón, ladrillo, papel, cartón, madera, plástico, metales y otros elementos. Según información de la empresa, el proceso de segregación y clasificación es un paso crucial para garantizar que los residuos

²¹ Fuente: MP Recicla (2022) <https://youtu.be/Xkwu2zclq7c?si=jeejfbBwkVgl0Dzz>

utilizados en la producción de los agregados reciclados sean homogéneos y cumplan con los estándares de calidad necesarios.

Aquellos residuos que llegan a la planta CICLO pero que no son aptos, como es el caso del papel, cartón, madera, plástico y metales, son donados por la empresa a distintas asociaciones de recicladores.

c) Triturado

Después de la segregación de los materiales, CICLO prosigue con el proceso de trituración de los componentes aptos para la fabricación de agregados reciclados. Todos los elementos pétreos son dispuestos de manera manual en una cinta transportadora que los conduce hacia la trituradora, donde se reduce su tamaño a las dimensiones adecuadas para continuar con la producción²². Este paso es fundamental para garantizar que los materiales estén listos para ser tamizados y convertidos en agregados reciclados, los cuales posteriormente se mezclarán y moldearán en los adoquines.

d) Zarandeo

Esta etapa implica el uso de zarandas o tamices que permiten la clasificación y separación de los materiales de diferentes tamaños. En la planta CICLO una faja transporta el RCD triturado a una zaranda vibratoria que actúa como un filtro permitiendo que los fragmentos más pequeños y homogéneos pasen a través de las aberturas, mientras que los fragmentos más grandes se separan. En este proceso, CICLO emplea dos tipos distintos de mallas para lograr una clasificación precisa de los materiales triturados²³.

Finalmente, al culminar todo este proceso, se obtienen tres tipos de agregados reciclados: fino, intermedio y grueso.

2.2. Proceso de fabricación de adoquines

De acuerdo con CICLO, esta línea productiva representa un proceso integral que abarca todos los pasos mencionados en la Figura 5, desde la definición de los insumos hasta la obtención del producto final, que son los adoquines diferenciados según su utilidad.

Figura 5: Proceso de fabricación de adoquines



²² Fuente: Mori (2022)

²³ Fuente: Mori (2022)

Según información de la empresa, una de las características de esta línea productiva es su enfoque sostenible, ya que utiliza el producto final obtenido en la línea productiva anterior, es decir los agregados reciclados elaborados a base de RCD, como el componente principal en la fabricación de los adoquines.

a) Acopio de insumos

En esta fase del proceso productivo, los requerimientos de insumos para la fabricación de los adoquines de CICLO – MP Recicla SAC son esenciales para garantizar la calidad del producto. Se utiliza una combinación de materiales que incluyen: agregados 100% reciclados de RCD, cemento, agua y aditivos²⁴. La base de los adoquines se compone completamente de agregados reciclados lo que contribuye a la reducción de la extracción de recursos naturales, dichos agregados son sometidos a las pruebas que indicadas en la NTP 400.037:2021. El cemento proporciona la cohesión necesaria, mientras que el agua y los aditivos son componentes clave para lograr la resistencia y durabilidad requeridas.

b) Mezclado

Una vez que se han determinado los insumos necesarios, el proceso avanza hacia la etapa de mezclado. En este punto, los agregados de RCD, el cemento, el agua y los aditivos se combinan de manera homogénea en una mezcladora tipo batea hasta lograr una mezcla semi húmeda que asegure la cohesión y resistencia del producto final. La fase de mezclado es fundamental para que los materiales se integren de manera eficiente y se alcance una distribución uniforme de partículas. Así mismo, un aspecto a cuidar en esta etapa es que la mezcla no sea excesivamente acuosa, ya que este factor puede afectar negativamente la manipulación posterior de la mezcla²⁵.

c) Moldeado y vibro compactación

Tras completar la fase de mezclado, el proceso continúa con la etapa de moldeado y vibro compactación. En esta fase, la mezcla, que ya contiene los agregados de RCD, el cemento, el agua y los aditivos en las proporciones adecuadas, se coloca en moldes con la forma y dimensiones específicas requeridas (10 cm de ancho x 20 cm de largo), de acuerdo con lo que indica la NTP 399.611:2017/CT 1:2019. Una vez en los moldes, la mezcla es sometida a la acción de la máquina adoquinera la cual aplica vibraciones controladas de manera uniforme eliminando posibles burbujas de aire y mejorando la densidad del adoquín²⁶. Esta etapa asegura la cohesión de los materiales y contribuye a la resistencia y durabilidad del producto final.

d) Secado y curado

En cuanto a la fase de secado y curado, esta inicia una vez que los adoquines han sido moldeados y compactados con éxito. Según Mori (2022), el proceso de secado inicial tiene una duración de un día,

²⁴ Fuente: MP Recicla (2022) <https://youtu.be/Xkwu2zclq7c?si=jeejfbBwkVgl0Dzz>

²⁵ Fuente: Mori (2022)

²⁶ Fuente: Mori (2022)



durante el cual los adoquines frescos son retirados de los moldes y colocados en una superficie plana de madera, facilitando que los adoquines puedan manipularse sin el riesgo de deformaciones en etapas posteriores del proceso.

Después de este periodo, se inicia la etapa de curado. Durante esta fase, los adoquines son sumergidos en pozas con agua hasta quedar totalmente cubiertos, de tal manera que se mantienen en un ambiente controlado y se les proporciona la humedad necesaria para garantizar que el cemento alcance su máximo potencial de dureza y durabilidad. Por último, la fase de secado final se lleva a cabo en un área donde no incide la luz solar directa, lo que es crucial para evitar un secado demasiado rápido que pueda dar lugar a grietas en la superficie²⁷.

Al culminar este proceso, se obtiene como producto final los adoquines para pavimento de tres tipos distintos, cada uno diseñado para cumplir con requisitos específicos de uso.

²⁷ Fuente: Mori (2022)

III. METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE LA CIRCULARIDAD Y USO DE LA IC

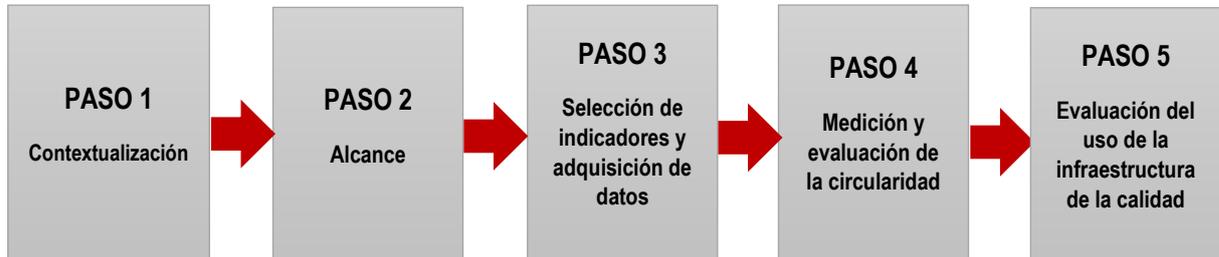
La metodología utilizada para medir la circularidad de la empresa en su proceso productivo se fundamenta en la norma ISO/DIS 59020 – Medición y evaluación de la circularidad.²⁸ Esta norma brinda orientación a las empresas para medir y evaluar un sistema seleccionado permitiendo determinar su rendimiento circular en un momento específico.

La aplicación de esta metodología se complementa con la evaluación del uso de la IC en el proceso productivo de la empresa: normas técnicas, evaluación de la conformidad acreditada, acreditación y metrología.

3.1. Pasos de la metodología

Para el presente estudio, la evaluación de la circularidad y el uso de la IC se divide en cinco pasos secuenciales. Los 4 primeros relacionados con la circularidad, según la ISO/DIS 59020 – Medición y evaluación de la circularidad, y se agregó un quinto paso enfocado en identificar el uso de los servicios de la IC.

Figura 6: Pasos de la evaluación de circularidad y uso de servicios de IC



3.1.1. Paso 1. Contextualización

Según la ISO/DIS 59020, el primer paso consiste en identificar cuáles son los objetivos de circularidad específicos de la empresa o el sector bajo evaluación. Estos objetivos sirven como puntos de referencia cruciales que proporcionan una dirección clara y establecen un marco estratégico que orientará sus iniciativas y procesos hacia la consecución de un modelo de negocio sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

²⁸ Al mes de diciembre del 2023, la norma en mención aun no estaba publicada por la ISO.

Así mismo, es fundamental comprender minuciosamente el proceso productivo subyacente al sistema en evaluación, ya que esto permitirá evaluar de manera precisa las prácticas circulares implementadas e identificar los puntos del proceso productivo en donde se implementan.

3.1.2. Paso 2. Alcance

Una vez identificados los objetivos y conocido el proceso productivo, el siguiente paso consiste en el establecimiento de límites del sistema a medir y evaluar.

Primero, es fundamental determinar el alcance de la evaluación, ya sea a nivel de empresa, producto o incluso a niveles más amplios, como el interorganizacional, regional o global. En todos los casos, es esencial considerar todo el ciclo de vida del sistema en cuestión. Esta consideración detallada del alcance de la evaluación permite acotar el sistema a evaluar y obtener una visión más precisa de los impactos y oportunidades relacionados con la circularidad²⁹.

Sumado a ello, la ISO/DIS 59020 indica que se debe definir todos los flujos de recursos del sistema a evaluar, especificando las cantidades y si se trata de un recurso de tipo lineal o circular. Esto implica identificar de manera minuciosa cómo se adquieren, utilizan y desechan los recursos a lo largo de todo el ciclo de vida del sistema. Además, es importante analizar la procedencia de estos recursos y su disponibilidad a largo plazo.

Finalmente, para concluir con la determinación del ámbito de estudio, la ISO/DIS 59020 menciona que se debe definir cuáles serán los aspectos de circularidad a medirse (reciclaje, reutilización, reparación, etc.). La elección de los aspectos de circularidad, de acuerdo con el sistema que se está analizando, garantiza que la evaluación sea relevante y se enfoque en los puntos críticos para la mejora y la transición hacia un modelo circular. Además, permite establecer métricas y criterios de medición específicos que servirán como referencia para evaluar el progreso y el impacto de las iniciativas de economía circular.

3.1.3. Paso 3. Determinación de indicadores y recopilación de datos

El siguiente paso implica la identificación de los indicadores pertinentes para cuantificar y evaluar los flujos de recursos, así como para medir el impacto de las metas y acciones circulares de la organización en el desempeño global de la circularidad del sistema en cuestión, basándose en la información obtenida en etapas anteriores. Los indicadores propuestos según la norma ISO/DIS 59020 son aplicables a todos los niveles del sistema y todos los sectores.

Tras la identificación de los indicadores, es esencial iniciar la fase de recolección de los datos necesarios para medir la circularidad. Cabe destacar que estos datos pueden ser de tipo primario y/o secundario, pero

²⁹ Fuente: ISO/DIS 59020

independientemente de su origen, deben ser representativos y verificables para garantizar la precisión y la fiabilidad de las mediciones.

3.1.4. Paso 4. Medición y evaluación de la circularidad

La evaluación de la circularidad se enfoca en medir la eficacia del sistema en términos de EC, para ello utiliza los indicadores de circularidad identificados en el paso anterior. Posteriormente, se realiza la interpretación de los resultados obtenidos para cada indicador, según lo indicado en la ISO/DIS 59020 – Medición y evaluación de la circularidad.

En este paso, los datos precisos son fundamentales, ya que permiten realizar una buena evaluación y la toma de decisiones informadas. El resultado de esta evaluación proporciona una declaración sobre el rendimiento del sistema en cuestión en términos de economía circular, lo cual es crucial para entender si se están logrando los objetivos de circularidad y para identificar posibles áreas de mejora.

3.1.5. Paso 5. Uso de la infraestructura de la calidad

Adicionalmente a los pasos propuestos por la ISO/DIS 59020, se incorpora este paso final en la metodología para evaluar el uso de la IC. El propósito de este es determinar la relación entre el uso de los servicios de IC y los procesos productivos circulares. La incorporación de normas técnicas permite reducir costos y asegurar la calidad de los productos y servicios, logrando un mejor posicionamiento en el mercado. Asimismo, la acreditación y metrología permiten cumplir con lo establecido en las normas y demostrarlo con certificados confiables³⁰.

Por tal motivo, se pone énfasis en la incorporación de estos (normalización, acreditación y metrología) con el propósito de verificar y asegurar el cumplimiento adecuado de los procesos productivos.

³⁰ Fuente: Canelas-Santesteban *et al.* (2020)

IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN CICLO – MP RECICLA SAC

4.1. Paso 1: Contextualización

De acuerdo con CICLO – MP Recicla SAC, el objetivo circular de la empresa es transformar el RCD en materiales sostenibles, reduciendo así la disposición final en lugares inapropiados, como ríos, mares o áreas naturales, e incluso en rellenos sanitarios. Así mismo, busca contribuir en la reducción de la explotación de recursos naturales utilizados en la fabricación de materiales convencionales, para lo cual retorna materiales sostenibles al sector de la construcción elaborados a partir del RCD que la misma industria genera.

4.2. Paso 2: Alcance

Al momento de la realización de este estudio, la gerencia de la empresa afirma haber concentrado sus operaciones en la producción de adoquines. En ese sentido, el alcance de la medición corresponde a la producción de adoquines, pues es el único bien que se encuentra actualmente en producción debido a su elevada demanda.

Para la elaboración de los adoquines se requiere tanto de insumos lineales como circulares, todos en cantidades adecuadas. Dentro de los insumos lineales encontramos el cemento, el agua y los aditivos. Por el lado de los insumos circulares, tenemos el agregado reciclado elaborado en base a RCD.

El primer aspecto circular por medirse es el reciclaje. La razón detrás de esta elección se debe al proceso productivo específico de CICLO el cual involucra la recolección y el uso de RCD proveniente de un sistema externo (obras de construcción en curso, demolición de edificios antiguos y/o proyectos de renovación). Sumado a ello, también se considera la reutilización ya que, una vez finalizada la vida útil de los adoquines, estos pueden ser recuperados en el mismo sistema que los generó sin sufrir una transformación significativa. Adicionalmente, se medirá la vida útil de los adoquines realizando una comparación con un adoquín convencional. Finalmente, se medirán los impactos económicos de los modelos de negocios circulares.

4.3. Paso 3: Determinación de indicadores y obtención de datos

Dentro del marco de evaluación de la circularidad en la empresa MP Recicla SAC en la producción de adoquines, se realizó un análisis de la norma ISO/DIS 59020 – Medición y evaluación de la circularidad, y sus correspondientes indicadores. Tras esta revisión, se ha determinado que, debido a la naturaleza de las operaciones de la empresa, se considerarán cinco indicadores para medir y evaluar adecuadamente su nivel de circularidad. Los indicadores seleccionados, pertenecientes a las categorías de flujo de entrada, flujo de salida y el aspecto económico, se alinean con las especificaciones y prácticas circulares que CICLO

– MP Recicla SAC ha implementado, permitiendo una evaluación confiable de la EC en áreas específicas de su proceso productivo y, considerando que hasta el momento la empresa emplea los recursos de agua y energía de la misma manera que una empresa productora de adoquines convencionales por lo que no se consideran indicadores circulares para estos recursos.

Tabla 1: Indicadores para medir la circularidad de la empresa CICLO - MP Recicla SAC

Categoría	Indicador	Fórmula	Descripción
Flujo de entrada de insumos	Porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema (X)	$P_{REUI(X)} = \frac{m_{REUI(X)}}{m_{TI(X)}} \times 100$	Porcentaje de los insumos de entrada que son reciclados.
Flujo de salida de residuos	Vida útil del producto en relación con el promedio de la industria	$R_{LP(X)} = \frac{t_{LP(X)}}{t_{IALP(X)}}$	Indicador del tiempo que un producto permanecerá en uso en comparación con el promedio de la industria.
	Porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema (X)	$P_{REUO(X)} = \frac{m_{REUO(X)}}{m_{TO(X)}} \times 100$	Porcentaje de los residuos de salida que se reutilizan en la empresa.
Aspecto económico	Participación de los ingresos de los productos circulares	$P_{RSCR} = \frac{B}{A} \times 100$	Porcentaje de los ingresos anuales totales generados mediante producción circular respecto a los ingresos totales de la empresa.
	Productividad del material circular	$R_{MP} = \frac{C}{D}$	Relación de ingresos generados por la masa total de todas las entradas de insumos lineales.

Fuente: ISO/DIS 59020

A continuación, se describe los cinco indicadores seleccionados para medir la circularidad en la empresa CICLO – MP Recicla SAC.

a) Porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema (X)

Este indicador representa la fracción de insumos reciclados que fluyen dentro del sistema a evaluar. Un material califica como contenido reciclado si cumple con la especificación de contenido reciclado en ISO 14021:2016 (7.8.1.1)³¹. Esto incluye material pre-consumo y post-consumo.

Excluye específicamente la reutilización de materiales dentro de un proceso industrial, como reelaboración, trituración o chatarra generada en un proceso y que pueda recuperarse dentro del mismo proceso que la generó.

³¹ Según la ISO 14021:2016, el material reciclado se define como aquel que ha sido reprocesado de un material recuperado por medio de un proceso de fabricación y convertido en un producto final o en un componente para incorporación en un producto.

El material recuperado se define como aquel que de otra forma hubiera sido dispuesto como residuo o usado para recuperar energía, pero que en su lugar ha sido recolectado y recuperado [y retornado] como material de insumo, para reemplazar material primario nuevo para un proceso de reciclaje o de fabricación.

$$P_{REUI(X)} = \frac{m_{RECI(X)}}{m_{TI(X)}} \times 100$$

Donde:

$m_{RECI(X)}$: masa del contenido reciclado de un flujo de entrada (X), en kg u otras unidades de masa.

$m_{TI(X)}$: masa total de un flujo de entrada (X), en kg u otras unidades de masa.

b) Vida útil del producto en relación con el promedio de la industria

El indicador “vida útil del producto en relación con el promedio de la industria” se refiere al periodo de tiempo durante el cual un producto, proceso o servicio se espera que sea funcional y cumpla con su propósito previsto antes de llegar al final de su vida operativa, en comparación con la vida útil promedio de la industria para ese producto. Este indicador representa la desaceleración de un flujo de recursos.

Para el cálculo, la vida útil esperada se evalúa en base a la durabilidad del producto, la cual considera todos los pasos apropiados (mantenimiento, reparación y actualizaciones) para mantener el producto o material en un estado en el que se desempeñe según lo previsto para el usuario inicial y para la reutilización del producto.

$$R_{LP(X)} = \frac{t_{LP(X)}}{t_{IALP(X)}}$$

Donde:

$t_{LP(X)}$: vida útil de un producto o material (X), en años

$t_{IALP(X)}$: vida útil promedio en la industria de un producto o material (X), en años

c) Porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema (X)

Este indicador representa la fracción de residuos que se recupera o se recuperará del flujo de salida, al final de la vida útil, para su reutilización en la producción, el mantenimiento o la reparación de otros productos. Un residuo reutilizado se trata de elementos que han sido retirados de productos o procesos anteriores, pero en lugar de ser desechados, se les ha dado una nueva utilidad sin una transformación significativa.

En caso se utilice una cantidad de reutilización prevista en el cálculo de este indicador, para aquellos productos que primero cumplirán una vida útil y después se considerarán para la reutilización, se debe representar expectativas realistas de reutilización para evitar exagerar; además, se debe documentar las suposiciones y la información sobre la tasa histórica de reutilización para establecer las expectativas.

$$P_{REUO(X)} = \frac{m_{REUO(X)}}{m_{TO(X)}} \times 100$$

Donde:

$m_{REUO(X)}$: masa del contenido reutilizado de un flujo de salida (X), en kg u otras unidades de masa

$m_{TO(X)}$: masa total de un flujo de salida (X), en kg u otras unidades de masa

d) Participación de los ingresos de los productos circulares

Este indicador mide directamente la participación de los ingresos por ventas totales del sistema en evaluación generados por los productos circulares y, por lo tanto, es un indicador de circularidad. Se expresa como el porcentaje de ingresos anuales por la venta de productos circulares, considerando como tales a aquellos que se reutilizan, reparan, remanufacturan o provienen de fuentes reutilizadas o recicladas.

Este indicador está dirigido principalmente a los niveles más altos del sistema donde las organizaciones tienen una variedad de productos, servicios o insumos materiales que pueden identificarse fácilmente como circulares o no circulares.

$$P_{RSCR} = \frac{B}{A} \times 100$$

Donde:

B : ingreso total generado anualmente por la venta de productos circulares, en unidades monetarias

A : ingreso total generado anualmente, en unidades monetarias

e) Productividad del material circular

El ratio de “productividad del material circular” expresa los ingresos circulares de una organización generados por unidad de masa de entrada lineal.

Es importante tener en cuenta la distinción entre los flujos de entrada lineales y circulares. Las entradas lineales son contenido primario y pueden ser de dos tipos: contenido virgen renovable pero no producido de forma regenerativa y contenido virgen no renovable. Por otro lado, las entradas circulares son: contenido virgen renovable producido de forma regenerativa y contenido secundario (reciclado, reutilizado, remanufacturado, etc.).

El resultado de este indicador se volverá más significativo con el monitoreo continuo en el tiempo. Mientras más alta sea la productividad del material circular, la empresa estará desacoplando de mejor manera el rendimiento financiero del consumo lineal de recursos.

$$R_{MP} = \frac{C}{D}$$

Donde:

C: ingreso total generado por la venta de productos circulares, en unidades monetarias

D: masa total de todas las entradas de recursos lineales, en kg u otra unidad de masa

4.4. Paso 4: Medición y evaluación de la circularidad

Este conjunto de indicadores brinda una visión profunda de cómo la empresa administra sus materiales, productos y procesos en un ciclo continuo, logrando la minimización de residuos y la maximización del valor de los recursos. A través de la evaluación, no solo se cuantifica su aportación a la preservación del medio ambiente, sino que también se valora su capacidad para innovar y competir en un mundo que exige la adopción de modelos de negocio más circulares. Es importante destacar que estos también pueden ser de utilidad para otras organizaciones que comparten la visión de la circularidad o están en proceso de transición hacia modelos de negocio más sostenibles y circulares.

El valor de los indicadores de circularidad seleccionados para la empresa CICLO – MP Recicla SAC se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Estimación inicial de indicadores

Categoría	Indicador	Valor del indicador
Flujo de entrada de insumos	Porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema (X)	78.23 %
Flujo de salida de residuos	Vida útil del producto en relación con el promedio de la industria	1
	Porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema (X)	100%
Aspecto económico	Participación de los ingresos de los productos circulares	12.84%
	Productividad del material circular	2.31

A continuación, se interpreta y discute los resultados de cada uno de los indicadores:

a) Porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema (X)

En el marco de la evaluación de este indicador en la producción de adoquines, la empresa CICLO – MP Recicla SAC proporcionó los datos necesarios (masa del contenido reciclado del flujo de entrada y masa total del flujo de entrada) para realizar el cálculo.

A partir de los datos proporcionados por CICLO, se ha determinado que el porcentaje de insumos reciclados en relación con la producción de cada unidad de adoquín es del 78.23%. En el contexto de CICLO, es importante destacar que este contenido reciclado se refiere específicamente a la utilización de agregado reciclado derivado de RCD para la elaboración de los adoquines.

b) Vida útil del producto en relación con el promedio de la industria

Para el cálculo de este indicador, CICLO – MP Recicla SAC no cuenta con un dato exacto sobre la vida útil de los adoquines ya que esta se puede ver influenciada por diversos factores, como las condiciones ambientales (calor, hielo, deshielo, lluvia y suelos salinos) y la intensidad de uso del material, como su aplicación en pavimentos vehiculares. Para la determinación de este valor, la NTP 399.611:2017/CT 1:2019 sugiere la realización de pruebas de resistencia a la abrasión.

La NTP 399.611:2017/CT 1:2019 hace referencia a dos normas técnicas relacionadas con la prueba de abrasión (NTP 399.624:2006³² y NTP 399.625:2006³³). Dicha norma indica que se debe realizar esta prueba a los adoquines tipo III, empleados en pavimentos de tránsito vehicular pesado, los cuales tienen como requisito experimentar pérdidas de volumen no mayores a $15 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ y pérdida de espesor menor a 3mm.

De acuerdo con la revisión de los Organismos Evaluadores de la Conformidad (OEC) acreditados por el INACAL, el alcance de la prueba de abrasión es únicamente a nivel de agregados.³⁴ Por tal motivo, CICLO no ha realizado esta prueba hasta el momento y recurre a consultar fuentes secundarias que le permita determinar un valor de referencia para la vida útil de los adoquines.

Considerando esta información, el indicador de vida útil para la empresa CICLO toma un valor igual a la unidad. Esto se debe a que, según la empresa, tanto el adoquín de CICLO como el adoquín convencional tienen una vida útil de 20 años³⁵. Sin embargo, es recomendable no considerar el valor obtenido para este indicador, ya que la determinación de la vida útil del adoquín en el Perú todavía no es posible.

Esta situación demuestra la necesidad de difundir la importancia de la acreditación de laboratorios de ensayo relacionados con esta actividad a fin de que las OECs puedan ampliar su alcance y promover la producción de adoquines que cumplan con todos los requisitos establecidos en la NTP 399.611:2017/CT 1:2019 y otras normas referentes a distintos productos.

c) Porcentaje de residuos reutilizados derivados del sistema (X)

La empresa CICLO – MP Recicla SAC brindó una estimación de los datos necesarios (masa del contenido reutilizado del flujo de salida y masa total del flujo de salida) en el contexto de la evaluación de este indicador en la producción de adoquines. Sin embargo, también indicó que no cuenta con un proceso de trazabilidad

³² NTP 399.624:2006 (revisada el 2015). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto utilizando la máquina de desgaste.

³³ NTP 399.625:2006 (revisada el 2015). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de adoquines de concreto mediante chorro de arena.

³⁴ Fuente: Sistema de Información en Línea del INACAL (2023) <https://aplicaciones.inacal.gob.pe/crtacre/>

³⁵ Este dato se corrobora en la guía técnica de pavimentos con adoquines de hormigón del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines_de_hormigon.pdf

por lo cual no tiene la certeza de si, el cliente o quien decida retirar el piso de adoquines, se pondrá en contacto con ellos o dispondrá el material en algún otro lugar.

Fundamentándose en los datos brindados por la empresa, inicialmente se estableció que el valor del indicador por unidad de adoquín producida toma un valor de 100%, lo cual indica que los adoquines tienen la capacidad de ser devueltos al sistema productivo y ser reutilizados en su totalidad. Pero, considerando la situación descrita, se concluye que no se pudo establecer el valor del indicador por unidad de adoquín.

d) Participación de los ingresos de los productos circulares

En el proceso de evaluación de la circularidad en la producción de adoquines, la empresa CICLO – MP Recicla SAC proporcionó los datos necesarios (ingresos por ventas de productos circulares e ingresos totales) con el propósito de calcular el porcentaje de contribución de los ingresos de los productos circulares.

Tras analizar los datos proporcionados, se pudo constatar que los adoquines representan el 12.84% de los ingresos totales de la empresa CICLO. Este porcentaje refleja la participación de este producto en la estructura de ingresos de la empresa, evidenciando prácticas de circularidad y la adopción de recursos reciclados en su estrategia comercial. Así mismo, demuestra que la venta de adoquines contribuye en la generación de ingresos de la empresa, respaldando su enfoque circular como componente de su modelo de negocio. En contraste, los ingresos restantes (87.16%) derivan principalmente de la venta de agregados reciclados y del servicio integral de gestión y reciclaje de RCD, destacándose como las fuentes de ingreso primordiales.

e) Productividad del material circular

Dentro del contexto del análisis de este indicador, CICLO – MP Recicla SAC compartió los datos fundamentales, específicamente el ingreso total por la venta de productos circulares y la masa total de entradas lineales, a fin de facilitar el cálculo del indicador en cuestión.

Considerando esta información se determinó que la productividad del material circular, que en el caso de la empresa CICLO se refiere a los adoquines elaborados en base al agregado obtenido de RCD, presenta un valor de 2.31. Como se mencionó anteriormente, la interpretación de este indicador es más significativa si se compara el rendimiento en el transcurso del tiempo; sin embargo, este primer cálculo del indicador fija una línea base para la empresa CICLO, la cual se espera sea superada año tras año.

En ese sentido, después de la interpretación y discusión de los indicadores propuestos inicialmente, la estimación final de indicadores es la siguiente:

Tabla 3: Estimación final de indicadores

Categoría	Indicador	Valor del indicador
Flujo de entrada de insumos	Porcentaje de insumos reciclados que ingresan al sistema (X)	78.23 %
Aspecto económico	Participación de los ingresos de los productos circulares	12.84%
	Productividad del material circular	2.31

4.5. Paso 5: Uso de la Infraestructura de la Calidad

El presente estudio toma como referencia la norma ISO/DIS 59020 para medir y evaluar la circularidad de la empresa CICLO, de esta manera incorpora una norma técnica que actualmente se encuentra en discusión y posteriormente será adoptada por el INACAL, según opinión de la Dirección de Normalización.

Por el lado de la empresa y la incorporación de los servicios de la IC para lograr la circularidad y calidad en el producto, esta incorpora normas técnicas en el proceso productivo de adoquines y agregados reciclados. En la primera línea productiva (proceso de tratamiento de RCD), emplea la NTP 400.037:2021³⁶, que establece los requisitos de granulometría y calidad para el agregado reciclado, el cual es utilizado como insumo para la producción de los adoquines. En la segunda línea productiva, CICLO incorpora la NTP 399.611:2017/CT 1:2019³⁷, que determina los requisitos para los adoquines destinados a la construcción de pavimentos.

Respecto a la acreditación, CICLO cuenta con una Declaración Ambiental de Producto (DAP) la cual ofrece información cuantificada y verificada por terceros sobre el desempeño ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida. Además, la empresa lleva a cabo los ensayos de los adoquines en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Dichas pruebas de ensayo comprenden la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la tolerancia dimensional; todas ellas en concordancia con los requisitos establecidos por la NTP 399.611:2017/CT 1:2019, que regula la producción de adoquines de concreto para pavimentos.

La prueba de resistencia a la compresión consiste en aplicar una fuerza de compresión a una de las superficies del adoquín para evaluar su resistencia a la carga hasta el punto de rotura. La segunda prueba, absorción de agua, implica medir la capacidad de absorción de los adoquines, mediante su inmersión en agua. La última prueba, de tolerancia dimensional, no requiere un ensayo formal, sino más bien de una medición confiable del ancho, alto y largo de cada unidad de adoquín en la cual se establece márgenes de error para las dimensiones de los adoquines (± 1.6 mm longitud, ± 1.6 mm ancho y ± 3.2 mm espesor).

Es importante mencionar que el laboratorio de la UNI no se encuentra acreditado por INACAL, con lo que podría aumentar el riesgo de la confiabilidad de los resultados. Esta situación crea la urgencia de consolidar la fiabilidad de los resultados pues comparativamente otros países han adoptado buenas prácticas internacionales en este ámbito. Un ejemplo de ello es Colombia, donde el sector construcción es el que cuenta con el mayor número de laboratorios de ensayo acreditados (19%) los cuales buscan constantemente ampliar el portafolio o la capacidad de sus servicios acreditados para atender las necesidades del mercado; este hecho demuestra que en Colombia, específicamente en el sector

³⁶ NTP 400.037:2021 - AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5a Edición

³⁷ NTP 399.611:2017/CT 1:2019 - UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos. CORREGIDA TÉCNICA 1. 1ª Edición.

construcción, se reconoce a la acreditación como un elemento fundamental para confirmar que los laboratorios cuentan con la competencia necesaria para garantizar la validez de los resultados que son emitidos³⁸.

En lo que respecta a los servicios de metrología, es importante señalar que, de acuerdo con información de la empresa, durante el proceso productivo de los adoquines no se realiza la calibración de ninguna máquina o equipo con un laboratorio acreditado. La empresa indica que la medición de las cantidades de los insumos se lleva a cabo por volumen, basándose en información previa sobre la densidad de dichos materiales. No obstante, subraya el desarrollo de un plan de mantenimiento específico para aquellos equipos que incorporan motores eléctricos.

La consideración de algunos aspectos de la IC durante la producción de los adoquines permite garantizar la fabricación de productos circulares de calidad que puedan competir en el mercado junto con los materiales de construcción convencionales, a la vez que refleja un enfoque de seguridad y satisfacción al cliente.

³⁸ Fuente: Aguirre et al. (2023)

V. CONCLUSIONES

- El presente estudio de caso mide la circularidad en el proceso productivo de la empresa CICLO – MP Recicla SAC, perteneciente al sector de la construcción, e identifica el uso de normas técnicas, servicios de evaluación de la conformidad acreditados (ensayos de laboratorio, verificaciones, pruebas, inspecciones, certificaciones, entre otros) y, de instrumentos calibrados, para optimizar sus procesos de gestión de residuos en el contexto de la EC.
- Al momento de la realización de este estudio, la empresa ha concentrado sus operaciones en la producción de “eco adoquines”. Debido a que no existe una estandarización en el uso del término “eco adoquín” y a que no hay registro de una norma técnica que haga referencia a dicho término, en este estudio se empleó la palabra adoquín para hacer referencia a este producto.
- La medición de la circularidad de la empresa se basa en la metodología de la norma ISO 59020 – Medición y evaluación de la circularidad, la cual establece 4 pasos: contextualización, ámbito, determinación de indicadores y adquisición de datos, y medición y evaluación de la circularidad. A ello se agregó un paso adicional relacionado con el uso de la Infraestructura de la Calidad.
- Los resultados estimados demuestran que durante el proceso productivo de los adoquines el 78.23% de los insumos son reciclados. En cuanto al aspecto económico, la participación de los ingresos obtenidos por la venta de adoquines constituye un 12.84% del total; además, por cada kg de insumo lineal utilizado se generan ingresos circulares de 2.31 soles por la venta de un adoquín.
- Con relación al indicador de vida útil para la empresa CICLO, este pone en evidencia la necesidad de desarrollar nuevos esquemas de acreditación de laboratorios de ensayo relacionados con esta actividad a fin de que las OECs puedan ampliar su alcance y promover la producción de adoquines que cumplan con todos los requisitos establecidos en la NTP 399.611:2017/CT 1:2019.
- Respecto al uso de la IC, se identificó el uso de Normas Técnicas Peruanas para lograr la circularidad y la calidad, la empresa emplea la NTP 400.037:2021 de agregados para concreto utilizada durante la elaboración de los agregados reciclados y la NTP 399.611:2017/CT 1:2019 Unidades de albañilería. Adoquines de concreto para pavimentos, durante en el proceso productivo de los adoquines.
- En cuanto al uso de OECs acreditados, la empresa utiliza los servicios del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en donde lleva a cabo ensayos de tolerancia a la compresión, absorción de agua y tolerancia dimensional; sin embargo, este OEC no cuenta con la acreditación de INACAL lo cual puede aumentar el riesgo de la confiabilidad de los resultados.
- Con relación al uso de los servicios metrológicos, CICLO realiza la medición de las cantidades de los insumos por volumen, en función a información previa sobre la densidad de los materiales. No obstante, la empresa realiza actividades de mantenimiento a aquellos equipos que poseen motores eléctricos y no usa servicios de calibración en entidades acreditadas.

- Por último, el estudio revela que, a pesar de los esfuerzos de empresas como CICLO por incorporar los servicios de la IC en sus procesos productivos, aún existen desafíos significativos en el país en cuanto a la IC; específicamente, en el caso de CICLO se evidencia la falta de laboratorios acreditados por Inacal que realicen pruebas de ensayo pertinentes para el sector construcción.



VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, P., Jácome, D. y Rodríguez, M. (2023). *Laboratorios de ensayo acreditados para el sector de la construcción y obras civiles*. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC. <https://onac.org.co/laboratorios-construccion/blog-onac/>
- Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe. (2021). *Indicadores de transición circular V1.0. Métricas para empresas, realizadas por empresas*. <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/11123/164399/1>
- Blokitubos. (2023). *Productos*. <https://www.blokitubos.com/productos/eco-adoquin/>
- Canelas-Santiesteban, E., Harnes-Liedtke, U., Valqui, A., Flores-Campos, M., Lugo, G., Liewald, W., Rivadeneira, M. (2020). *Infraestructura de la calidad para la economía circular en América Latina y el Caribe*. Consejo de la Infraestructura de la Calidad de América (QICA). <https://bvearmb.do/handle/123456789/2849>
- CICLO – MP Recicla SAC. (2023). *CICLO – Reciclar para construir. Nosotros*. <https://ciclo.com.pe/nosotros/>
- CICLO – MP Recicla. (2018). *Productos y Servicios CICLO*.
- CICLO – MP Recicla. (2023). *Brochure Comercial CICLO 2023*.
- Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - MINAM. (2022). *Indicadores RSS año 2021*. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODI2NjU0MzqtNTQyOS00ZiM0LWI3YjAtN2YwNzcxMWY1M2IzIiwidCI6IjBIMmFiZjRILWExZjUtNDZiZi1iOWE0LWM5YWE2ZGQ1NTE4MCJ9&pageName=ReportSection>
- Esslinger, V., Soler, G., Flores, M. y Harnes, U. (2023). *Iniciativas y sellos para plásticos en el marco de la economía circular en América Latina y el Caribe*. Consejo de la Infraestructura de la Calidad de América (QICA).
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2014). *Guía técnica: Pavimentos con adoquines de hormigón*. https://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/adoquines_de_hormigon.pdf
- Instituto Nacional de Calidad. (2006). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión de adoquines de concreto utilizando la máquina de desgaste (NTP 399.624)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2006). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Método de ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de adoquines de concreto mediante chorro de arena (NTP 399.625)*.

- Instituto Nacional de Calidad. (2017). *UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos. CORRIGENDA TÉCNICA 1. 1ª Edición.* (NTP 399.611/CT 1:2019).
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones* (NTP 400.037).
- International Organization for Standardization. (2024). *Circular economy – Measuring and assessing circularity* (ISO/DIS 59020).
- Ministerio de Producción. (2020). *Encuesta Nacional de Empresas 2019 – Informe final de actividades y resultados.* Dirección Ejecutiva de Censos y Encuestas de Establecimientos – INEI. <https://ogeiee.produce.gob.pe/images/oe/ene2019/Informe%20T%C3%A9cnico%20de%20a%20Encuesta%20Nacional%20de%20Empresas%202019.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2023). *Listado de empresas operadoras de residuos sólidos autorizadas por el MINAM.* <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/274465-listado-de-empresas-operadoras-de-residuos-solidos-autorizadas-por-el-minam>
- Mori, R. (2022). *Utilización de valvas de concha de abanico y residuos de construcción civil en la elaboración de adoquines de concreto* [Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero]. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5600>
- MP Recicla. (2022). *Proceso de tratamiento de RCD y de fabricación de eco materiales CICLO.* YouTube. <https://youtu.be/Xkwu2zclq7c?si=ieeifbBwkVgl0Dzz>
- Prefabricados de la Jara – Adoquines para pavimentos. (2023). *¿Qué son los adoquines de hormigón ecológico con efecto fotocatalítico?* <https://www.prefabricadosjara.com/adoquines-de-hormigon-ecologico-efecto-fotocatalitico/>
- Sistema de Información en Línea. (2023). *Métodos de ensayo acreditados por la Dirección de Acreditación del Inacal.* <https://aplicaciones.inacal.gob.pe/crtacre/>
- The International EPD System – EPD. (2023). *The International EPD System.* <https://www.environdec.com/about-us/the-international-epd-system-about-the-system>

VII. ANEXOS

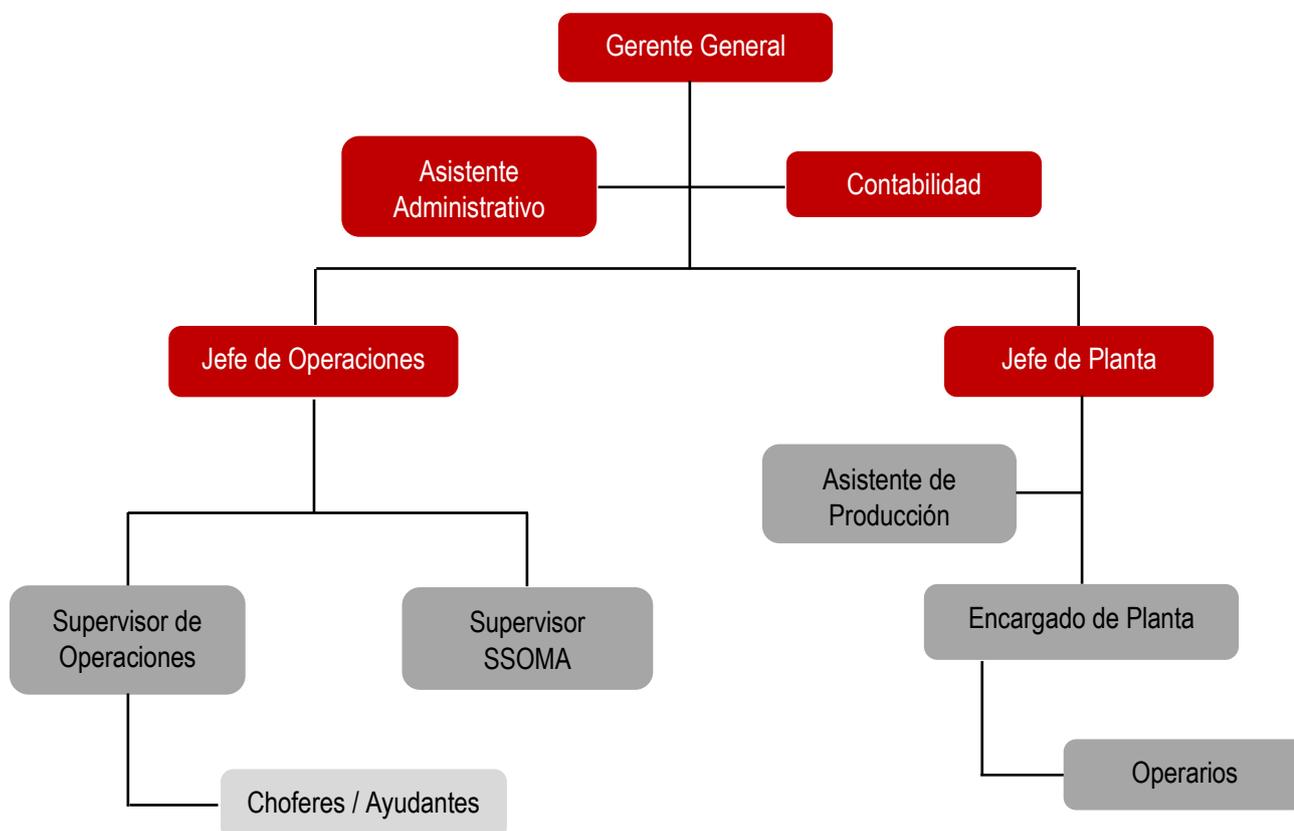
Anexo 1: Organización de la empresa

La estructura organizativa de CICLO – MP Recicla SAC se compone de una gerencia general y dos jefaturas principales. La gerencia general supervisa y orienta todas las operaciones y actividades en línea con los objetivos de la empresa.

La Gerencia General es el principal órgano de gestión de la empresa. De esta gerencia se desprendan las dos jefaturas:

- Jefe de Operaciones: Encargado de supervisar y gestionar las operaciones diarias de la empresa referente a los servicios de gestión integral de RCD. Esto incluye la coordinación de las actividades relacionadas con el proceso productivo, así como la supervisión del cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad en todas las operaciones.
- Jefe de Planta: Responsable de la gestión y operación eficiente de las instalaciones de procesamiento de la empresa. Esto implica la supervisión de la maquinaria y equipos utilizados en el proceso productivo, así como la optimización de los flujos de trabajo para aumentar la productividad y reducir costos. Además, junto con el asistente de producción, es el encargado de realizar la investigación y el desarrollo de nuevos productos.

Figura 7: Organigrama de CICLO - MP Recicla SAC



CICLO – MP Recicla SAC opera con un equipo compuesto por 11 empleados directos, clasificando como una pequeña empresa dentro del grupo de las MYPES. Este grupo de trabajadores desempeñan diversas funciones tanto en actividades operativas como administrativas; además, como parte de su estrategia empresarial, CICLO terceriza ciertos aspectos de su proceso productivo, como la contratación de choferes y servicios de contabilidad. Esta flexibilidad le permite adaptarse de manera efectiva a las fluctuaciones en la demanda de pedidos. Sin embargo, tiene planes de aumentar su equipo de empleados mediante la incorporación de 1 o 2 personas antes de que termine el año 2023.