

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE ADOQUINES EN LA REGIÓN
LAMBAYEQUE APROVECHANDO LOS RESIDUOS PLÁSTICOS
PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

CLAUDIA MALCA NORIEGA

ASESOR

OSCAR KELLY VASQUEZ GERVASI

<https://orcid.org/0000-0002-3893-0516>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE ADOQUINES EN LA REGIÓN
LAMBAYEQUE APROVECHANDO LOS RESIDUOS
PLÁSTICOS PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN
AMBIENTAL**

PRESENTADA POR:
CLAUDIA MALCA NORIEGA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR:

Sonia Mirtha Salazar Zegarra
PRESIDENTE

Danny Adolfo Bustamante Sigueñas
SECRETARIO

Oscar Kelly Vasquez Gervasi
VOCAL

Dedicatoria

A mis abuelos José y Roberto, por ser luces en mi camino.
A mi familia, por ser mi soporte y motivo para seguir adelante y no rendirme.

Agradecimientos

A los ingenieros Oscar Vasquez Gervasi y Evans Llontop Salcedo, por brindar su asesoría y apoyo para el desarrollo de esta tesis.
A Valeria, Heymé, Renato y Laila, por acompañarme muchas noches y darme ánimos siempre que los necesitaba.
A Phoenix, por aportar esa chispa de cordura cuando sentía que la estaba perdiendo.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Revisión de literatura	8
Materiales y métodos	9
Resultados y discusión	11
Conclusiones	23
Recomendaciones	23
Referencias.....	25
Anexos	29

Resumen

El presente trabajo de investigación propone la instalación de una planta de adoquines en la Región Lambayeque aprovechando los residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental. Se realizó un estudio de mercado en el que se analizó la demanda y oferta de pavimentación en la región; para así calcular la demanda insatisfecha, que resultó 16 495 101,41 m², de la cual el proyecto cubrirá el 1%. Se llevó a cabo el análisis de macro y micro localización para determinar la ubicación de la planta en el distrito de La Victoria. Basado en el proceso de producción se estableció el requerimiento de materia prima, mano de obra y maquinaria para una capacidad diseñada de 3 324 adoquines/hora. Se realizó el diseño de la planta dentro de un área total de 4 957,2 m² calculada mediante el método Guerchet y SLP. Se evaluó el aspecto económico – financiero con un TMAR de 21%, y se obtuvo un VAN de S/. 1 154 758,37 y un TIR de 64%. Finalmente, se evaluó la disminución de la contaminación y se obtuvo al año 2027 una reducción de 18,56% en la cantidad de residuos plásticos cuyo destino final es un botadero municipal; concluyendo en la viabilidad del proyecto en términos comerciales, técnicos y económicos.

Palabras clave: Residuos plásticos, adoquines, prefactibilidad.

Abstract

This research proposes the installation of a paver block plant in Lambayeque Region using plastic wastes to reduce pollution. The market study was carried out to analyze the demand and supply of pavement in the region; to calculate the unsatisfied demand, which was 16 495 101,41 m², of which the project will cover 1%. The location analysis was carried out to determine the location of the plant in the district of La Victoria. Based on the production process, the requirement for raw material, labor and machinery was established for a designed capacity of 3 324 blocks/hour. The plant was designed within a total area of 4 957,2 m², calculated using the Guerchet and SLP methods. The economic and financial aspect was evaluated with a MARR of 21%, and a NPV of S / . 1 154 758,37 and an IRR of 64%. Finally, the decrease in pollution was evaluated and by the year 2027 a reduction of 18,56% was obtained in the amount of plastic waste whose final destination is a municipal dump, concluding in the viability of the project in commercial, technical and economic terms.

Keywords: Plastic waste, paving stones, pre-feasibility.

Introducción

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la cantidad de plásticos producida a 2018 alcanza los 9 mil millones de toneladas, de los cuales solo el 9% ha sido reciclado [1]. La cifra anual de producción ha ido en aumento: con 2,1 millones de toneladas en 1950, 147 millones de toneladas para 1993 y alcanzó los 407 millones de toneladas en 2015 [2].

En el Perú, los plásticos representan el 10,52% del total de residuos sólidos generados anualmente, lo cual equivale a 919 222,14 toneladas. Del total de residuos sólidos, el 56,39% acaba en botaderos, 24,03% en rellenos sanitarios, 15,58% en rellenos controlados y solo el 4% es reciclado; esto se traduce en 518 349,36 toneladas anuales de plásticos que no reciben una disposición final adecuada [3].

En la Región Lambayeque, durante 2019 se recogieron alrededor de 34 367,43 toneladas de residuos plásticos [4]; y de acuerdo con datos del MINAM [5] [6], la región no cuenta con Infraestructura de Disposición Final, esto quiere decir que no existen rellenos sanitarios y por ello, el 93,33% de los residuos sólidos acaba en botaderos (33 724,83 toneladas de plásticos cada año), el 5,33% es reciclado, 1,28% es incinerado, 0,04% es llevado a un “relleno sanitario” y el 0,02% es compostado [7].

Debido a esta disposición final, Lambayeque tiene 30 áreas degradadas por residuos sólidos, que suman un total de 438 hectáreas [8] [9]. El Botadero Pampas de Reque, ubicado en el distrito de Zaña, ocupa el 70% de la superficie degradada total (307,01 ha) y recibe 250 toneladas diarias de residuos, muchos de ellos provenientes de establecimientos de salud e industrias, tiene presencia muy abundante de vectores y se queman residuos indiscriminadamente; a pesar de ello, la crianza de animales es intensa [10].

La inadecuada disposición final de residuos plásticos contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero como metano y etileno por su exposición al sol [11]. Se calcula que alrededor de 8 millones de toneladas acaban en los mares cada año, afectando a más de 700 especies marinas, algunas en peligro de extinción [2]. La salud humana se ve afectada por la inhalación de partículas de plástico y por su consumo en forma de micro plásticos presentes en el agua, animales marinos y otros alimentos [12], esto produce inflamación, daño en los tejidos, muerte celular e incluso carcinogénesis; además, los vectores (roedores o insectos) presentes en los botaderos transmiten enfermedades como tifus, cólera, malaria, dengue, fiebre amarilla y tifoidea [13].

El Plan de Desarrollo Regional Concertado Lambayeque 2030 [14] tiene como uno de sus objetivos mejorar la conectividad de la región, siendo un indicador el número de kilómetros de carretera pavimentada. La infraestructura vial de la Región Lambayeque comprende la red vial Nacional, Departamental y Vecinal, el Plan de Desarrollo indica que a 2015 la longitud total es de 3 186,9 km, de los cuales solo el 21,7% están pavimentados; y son las redes vecinales o rurales aquellas que presentan una mayor proporción sin pavimentar (98,7%).

Frente a lo mencionado anteriormente, surge la pregunta: ¿Cuál es la prefactibilidad de instalar una planta de adoquines en la Región Lambayeque, aprovechando los residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental? El objetivo general del presente trabajo de investigación es determinar la prefactibilidad de la instalación de una planta de adoquines en la

Región Lambayeque, aprovechando los residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental; cuyos objetivos específicos son: determinar la prefactibilidad comercial, la prefactibilidad técnica, y la prefactibilidad económico - financiera para la instalación de una planta de adoquines en la Región Lambayeque, aprovechando los residuos plásticos.

El aprovechamiento de residuos plásticos contribuirá a reducir los gastos ocasionados por su mala disposición final, además de obtener un material a bajo costo para la elaboración de bloques de pavimento más económicos que las opciones existentes en el mercado, y así también mejorar la infraestructura de la Región Lambayeque. El Decreto Legislativo N°1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos promueve el desarrollo de tecnologías para la adecuada disposición final, y aprovechamiento de los residuos sólidos, así como la recuperación de áreas degradadas. La elaboración de bloques de pavimento a partir de residuos plásticos contribuirá con el desarrollo de nuevas alternativas para reducir el impacto ambiental en la región.

Revisión de literatura

Pavimento

Se denomina así al conjunto de capas que se colocan sobre la subrasante (terreno natural) con el fin de asegurar y dar comodidad al tránsito, así como la distribución y resistencia de los esfuerzos que causan los vehículos. Dichas capas son llamadas Subbase, Base y Capa de Rodadura; esta última es la parte visible de una vía y puede ser de asfalto (flexible), de concreto (rígido) o de adoquines (semirrígido) [15].

Requerimientos de adoquines

La Norma Técnica Peruana 399.611:2017 [16] establece los requerimientos de calidad para adoquines de concreto para pavimentos. En la tabla 1 se detallan los requisitos de espesor nominal, la resistencia mínima a la compresión, el porcentaje máximo de absorción de agua y la tolerancia dimensional máxima para los adoquines de tipo I, II y III.

Tabla 1. Requerimientos para adoquines

Tipo	Espesor nominal (mm)	Resistencia a la compresión, mín. (MPa)	Absorción, máx. (%)	Tránsito
I	40	28	7,5	<i>Peatonal</i>
	60			
II	60	37	7,5	<i>Ligero</i>
	80	33		
	100	32		
III	≥ 80	50	7	<i>Pesado</i>
Tolerancia dimensional, máx. (mm)		Longitud	Ancho	Espesor
		± 1,6	± 1,6	± 3,2

Fuente: Elaboración propia. En base a INACAL 2017.

En 2020, Tulashie, Boadu, Kotoka y Mensah [17] en su artículo titulado “Plastic wastes to pavement blocks: A significant alternative way to reducing plastic wastes generation and accumulation in Ghana” analizaron diferentes muestras de adoquines elaborados con arena de mar y arena de pozo, a las cuales se les añadieron residuos plásticos en proporciones que variaban entre 20 y 90%. Se realizaron pruebas para medir la resistencia al agua, a la

compresión, tracción y penetración. Con un 20% de composición de plástico, se observó que las muestras de arena de pozo presentaban un 3,98% de absorción de agua y las de arena de mar, 4,6%; a medida que el porcentaje de plástico aumentaba, la absorción disminuía. Se determinó que aquellos bloques compuestos de arena de pozo presentaron valores más altos de resistencia a la compresión (36,96 MPa) y tracción (8,2 MPa). Los adoquines de arena de pozo también presentaron un menor valor de profundidad de penetración (19,55 DMM).

Agyeman, Obeng-Ahenkora, Assiamah y Twumasi [18] en su investigación publicada en 2019, “Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production”, reemplazaron por completo al cemento con residuos plásticos y compararon los resultados con las especificaciones para el uso de estos bloques en pavimentación. Se hicieron muestras de control con cemento, arena de sílice y agregado fino; de bajo nivel de plásticos (LP) y de alto nivel de plásticos (HP). Se observó que la resistencia a la compresión aumentaba con el paso de los días; las muestras de control alcanzaron un valor promedio de 6,07 MPa; las LP, 7,31 MPa y las HP, 8,53 MPa; sin embargo, estos valores no alcanzaron el requerimiento para bloques de pavimento. También se hicieron pruebas de absorción de agua, en las que los bloques de control presentaron un valor promedio de 4,9%, los LP, 2,7% y los HP, 0,5%.

En 2019, Ghuge, Surale, Patil y Bhutekar [19] en su investigación titulada “Utilization of Waste Plastic in Manufacturing of Paver Blocks” evaluaron el rendimiento de adoquines hechos a partir de residuos plásticos; prepararon dos tipos de muestras: una hecha de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua; y la otra con los mismos componentes a excepción de agua que fue reemplazada por bolsas plásticas. Se evaluó la resistencia a la compresión después de 28 días y se obtuvo 19,54 MPa para los adoquines de concreto y 16,05 MPa para los adoquines con residuos.

En 2018, Kumi-Larbi Jnr *et al.* [20] en su investigación titulada “Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks” evaluaron el efecto del tamaño de grano y proporción de plástico – arena sobre la densidad y resistencia a la compresión de adoquines elaborados con polietileno de baja densidad (LDPE) y arena de sílice. Se determinó que los granos de arena más grandes reducían la resistencia a la compresión, siendo $d < 0,5$ mm el tamaño de grano con mejores resultados. En cuanto a la proporción plástico - arena, la muestra con 75% de arena obtuvo una densidad de $1,76 \text{ g/cm}^3$ y el máximo valor de resistencia a la compresión (27,3 MPa).

Shanmugavalli, Gowtham, Jeba Nalwin y Moorthy [21] en su artículo publicado en 2017, titulado “Reuse of Plastic Waste in Paver Blocks” analizaron las propiedades, resistencia a la compresión y punto de fusión, de tres muestras diferentes adoquines elaborados a partir de residuos plásticos (LDPE), agregado fino, grava y residuos cerámicos. La resistencia a la compresión máxima (13,03 MPa) fue de la muestra con proporciones de 1:1,5:2:0,75 en plástico, agregado fino, grava y cerámica; en cuanto al punto de fusión, fue $150 \text{ }^\circ\text{C}$ para las tres muestras.

Materiales y métodos

Estudio de mercado

Para determinar la prefactibilidad comercial se analizaron la demanda y oferta históricas de la zona de influencia, la Región Lambayeque, y las proyecciones de estas. La demanda representa los kilómetros de Red Vial Vecinal que faltan pavimentar, tomados de informes del Gobierno Regional. En cuanto a la oferta, se recurrió a los registros de Proyectos de Inversión

Pública sobre pavimentación. Posterior a determinar la demanda y la oferta histórica, ambos datos fueron proyectados 5 años a partir del año de ejecución del proyecto mediante los métodos de regresión lineal y de suavizamiento exponencial, respectivamente; estos datos fueron comparados para determinar la demanda insatisfecha y del proyecto.

Ingeniería del proyecto

Para determinar la mejor ubicación para una planta de adoquines en la Región Lambayeque se evaluaron macro localización y micro localización empleando el método de factores ponderados, cuya importancia se determinó mediante una matriz de enfrentamiento. Entre los factores analizados se encuentran la disponibilidad de materia prima, mano de obra, servicios básicos y terreno, la proximidad del mercado consumidor, las condiciones climáticas y topográficas, las vías de acceso disponibles, el costo suelo y la competencia.

El plan de producción se determinó según la demanda del proyecto establecida previamente; esto permitió calcular el requerimiento de materiales teniendo en cuenta el índice de consumo de residuos plásticos y arena por adoquín; así mismo se calculó la disponibilidad de materia prima y su proyección. Se calcularon indicadores de producción como la capacidad diseñada, capacidad real, utilización, entre otros. La tecnología se seleccionó en base al proceso y capacidad de producción requerida, con estos datos se calculó el requerimiento de energía anual y el requerimiento de mano de obra.

Mediante el método Guerchet se calculó la superficie requerida para cada área de la planta, como los almacenes, oficinas administrativas, área de producción, patio de maniobras, servicios higiénicos, entre otros. Se analizó la relación entre las áreas para establecer la proximidad de las áreas de la planta y elaborar el layout, empleando el Systematic Layout Planning (SLP).

Se determinó el talento humano necesario para el correcto funcionamiento de la planta, se especificaron funciones y requerimientos para cada uno de los puestos solicitados. Además, se establecieron las políticas de la planta para sus procesos principales.

Análisis económica – financiero

Tras el cálculo de la inversión total requerida por el proyecto, la cual incluye costos de producción como materiales y mano de obra, y gastos administrativos, comerciales y financieros; se analizaron indicadores como tasa de rentabilidad, beneficio obtenido y relación costo – beneficio para determinar la prefactibilidad económica – financiera.

Indicador de reducción de contaminación

Se determinó la generación histórica de residuos plásticos en la Región Lambayeque recurriendo a reportes emitidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), mediante el método de regresión lineal se proyectaron estas cantidades para los 5 años siguientes al inicio del proyecto. Se obtuvo la cantidad de residuos plásticos destinada a botaderos municipales según la proporción dada por el Registro Nacional de Municipalidades (RENAMU) y finalmente, con la cantidad de residuos plásticos aprovechada por el presente proyecto, se calculó el porcentaje de estos que no acabarían en botaderos.


Resultados y discusión

Estudio de mercado

Se definió el producto, que son adoquines de residuos plásticos y arena para tránsito peatonal y vehicular ligero. Los adoquines conforman un tipo de pavimento semirrígido, son bloques dispuestos sobre una capa de arena, encajando unos con otros sin necesidad de otros materiales aglomerantes [22] [23]; en base a este producto se llevó a cabo el estudio de mercado.

El producto (ver tabla 2) fue determinado en base a la investigación experimental realizada por Tulashie, Boadu, Kotoka y Mensah [17] y tiene una composición de 10% de arena de cantera y 90% de residuos plásticos. En dicho estudio se realizó la caracterización de los residuos plásticos empleados y se halló que la mayoría correspondía a polietileno y polipropileno; por lo que independientemente de la proporción utilizada de dichos polímeros se obtuvieron las siguientes propiedades: resistencia a la compresión es 36,96 MPa y el porcentaje de absorción es $< 1\%$, valores que cumplen con los requerimientos de calidad establecidos en la Norma Técnica Peruana 399.611:2017 [16], la cual es referencia para la presente investigación al no existir una Norma Técnica Peruana que corresponda a adoquines de residuos plásticos y arena.

Tabla 2. Ficha técnica del producto

FICHA TÉCNICA				
Descripción del producto		Adoquín a base de residuos plásticos y arena para tránsito peatonal y vehicular ligero		
Composición		90% residuos plásticos (polietileno y polipropileno)		
		10% arena de cantera (SiO ₂ , CaO, MgO)		
Dimensiones y tolerancias		IMAGEN DEL PRODUCTO 		
Largo (mm)	200			$\pm 1,6$
Ancho (mm)	100			$\pm 1,6$
Espesor (mm)	60			$\pm 3,2$
Piezas/m²	50			
Peso (kg)	1,152			
Propiedades				Usos y aplicaciones Veredas, parques, jardines, plazas, patios, senderos, espacios recreacionales y deportivos, malecones ciclovías, vías urbanas y rurales, áreas residenciales, terminales y paraderos, cruces peatonales.
Resistencia a la compresión (MPa)	36,96			
Absorción (%)	>1			
Resistencia a la tracción (MPa)	8,2			
Resistencia a la penetración (DMM)	19,55	Normativa aplicada	Norma Técnica Peruana - NTP 399.611:2017	

Fuente: Elaboración propia.

Los factores que determinaron la zona de influencia fueron la disponibilidad de materia prima, que son los residuos plásticos, y la demanda de pavimentación. En el 2019, la Región Lambayeque generó 34 622,96 toneladas de residuos plásticos [4]; y para 2020 el 98,7% de la Red Vial Vecinal se encontraba sin pavimentar, esto equivale a 2 029,86 km [25], por lo cual se escogió esta área para el desarrollo del proyecto.

Para el año 2027 la demanda de pavimentación será de 2 562,74 km, esto equivale a 16 657 777,5 m²; sin embargo, al comparar esta cifra con la oferta proyectada, 29 370,74 m², se generaría una demanda insatisfecha de 16 495 101,41 m². El presente proyecto pretende abarcar el 1% de esta demanda debido a factores como la disponibilidad de materia prima, alcanzando una producción de 164 951,01 m² o 8 297 036 adoquines en el año 2027.

En base a precio de venta de adoquines para tránsito peatonal y vehicular ligero, se estableció el plan de ventas con un precio de venta unitario de S/. 1,00, ya que el precio ofrecido por el mercado para adoquines de concreto para tránsito peatonal y vehicular ligero varía entre S/. 0,58 y S/. 1,87 por unidad. Para el año 2027 el precio de venta por unidad de adoquines se mantendría, como se muestra en la tabla 3. La distribución del producto será mediante canal directo hacia los clientes, que son constructoras.

Tabla 3. Plan de ventas

Año	Demanda del proyecto		Precio de venta (S/. /unidad)	Total, ingresos (S/. /año)
	(m ² /año)	adoquines		
2023	152 240,26	7 657 685	1,00	7 657 685,00
2024	155 422,82	7 817 768	1,00	7 817 768,00
2025	158 582,10	7 976 680	1,00	7 976 680,00
2026	161 778,99	8 137 483	1,00	8 137 483,00
2027	164 951,01	8 297 036	1,00	8 297 036,00

Fuente: Elaboración propia.

Ingeniería del proyecto

Para determinar la macro localización los factores más importantes fueron disponibilidad de materia prima, de mano de obra y vías de acceso; se evaluaron las 3 provincias de la Región Lambayeque y la seleccionada fue Chiclayo. Los factores de mayor importancia para la micro localización fueron los mencionados anteriormente junto con la disponibilidad de servicios básicos; se enfrentaron los distritos de José Leonardo Ortiz, La Victoria y Zaña, resultando como ubicación seleccionada el distrito de La Victoria.

En cuanto a la materia prima para la elaboración de los adoquines, se requerirá de residuos plásticos (polietileno y polipropileno) y arena de cantera; cabe resaltar que ninguno es un material crítico. La tabla 4 muestra la generación histórica de residuos plásticos útiles para la producción de adoquines, en la Región Lambayeque y la tabla 5 expone la proyección de disponibilidad de los mismos, realizada mediante el método de regresión lineal.

Tabla 4. Generación histórica de residuos plásticos

Año	Residuos plásticos (t/año)
2013	11 090,76
2014	11 480,31
2015	13 008,41
2016	12 911,03
2017	13 256,56
2018	18 051,11
2019	20 258,34

Fuente: Elaboración propia. En base a SIGERSOL, MINAM y SINIA.

Tabla 5. Proyección de disponibilidad de residuos plásticos

Año	Residuos plásticos (t/año)
2020	17 214,68
2021	18 675,12
2022	20 135,57
2023 (1er año)	21 596,01
2024 (2do año)	23 056,46
2025 (3er año)	24 516,90
2026 (4to año)	25 977,35
2027 (5to año)	27 437,79

Fuente: Elaboración propia.

El plan de ventas determina el requerimiento de materiales, junto con su índice de consumo: por cada adoquín de 1,152 kg se requiere 0,972 kg de residuos plásticos y 0,18 kg de arena (ver tabla 6).

Tabla 6. Requerimiento de materiales

Periodo	Materiales e insumos	
	Residuos plásticos (kg)	Arena (kg)
1er año	7 443 269,82	1 378 383,30
2do año	7 598 870,50	1 407 198,24
3er año	7 753 332,96	1 435 802,40
4to año	7 909 633,48	1 464 746,94
5to año	8 064 718,99	1 493 466,48

Fuente: Elaboración propia.

El proceso productivo está basado principalmente en el proceso descrito por Tulashie, Boadu, Kotoka y Mensah [17] para la obtención de adoquines de residuos plásticos que cumplen con los requerimientos de calidad; además se tomaron otras investigaciones similares realizadas por Salazar, Seminario, Tineo y Zapata [26] y Seminario, Chorres, Rivas, Ruesta y Sota [27].

Recepción de materia prima: Los residuos plásticos (ya clasificados por el proveedor) y la arena se reciben en la planta de producción.

Almacenamiento de materia prima: Los residuos plásticos y la arena son llevados al almacén de materia prima, el cual está dividido en dos ambientes para cada uno de los materiales.

Trituración de los residuos plásticos: El plástico es colocado en una trituradora para ser cortado en hojuelas de 3 mm.

Extrusión: Las hojuelas de plástico, junto con la arena son colocadas en una extrusora, donde se derriten a 175°C y forman una mezcla homogénea y de consistencia plástica.

Compactado: La mezcla es trasladada por una faja transportadora a una máquina bloquera, donde se da forma a los adoquines por acción de una prensa hidráulica.

Enfriado: Los bloques formados se dejan enfriar y endurecer a temperatura ambiente (entre 20 y 25 °C).

Curado: Los adoquines son llevados al almacén de producto terminado, donde se dejan curar por 28 días.

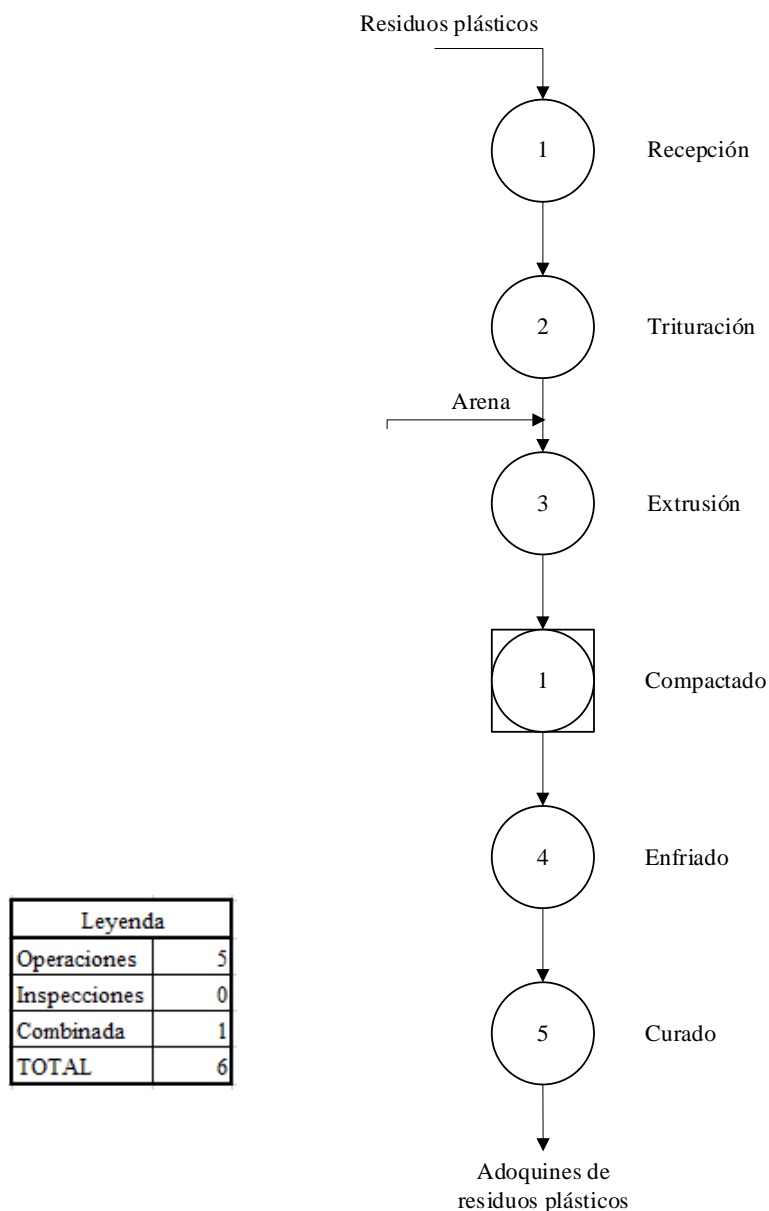


Figura 1. Diagrama de operaciones

Fuente: Elaboración propia. En base a Tulashie *et al* (2020), Salazar *et al* (2015) y Seminario *et al* (2018).

En la figura 2 se detalla el balance de materia del proceso de producción de adoquines de residuos plásticos y arena.

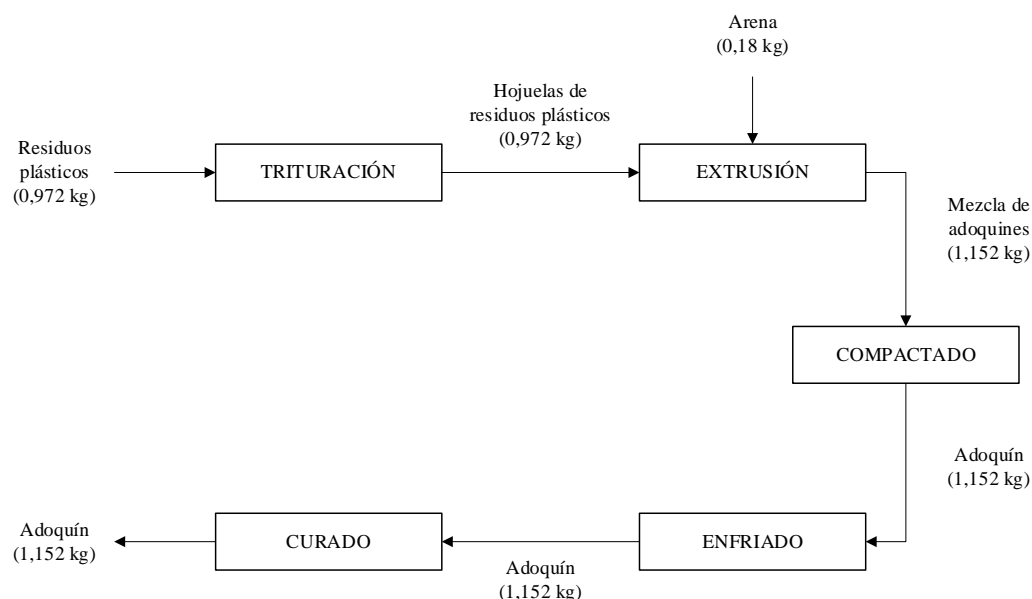


Figura 2. Balance de materia del proceso de producción de adoquines

Fuente: Elaboración propia. En base a Tulashie *et al* (2020), Salazar *et al* (2015) y Seminario *et al* (2018).

Para el presente proyecto, la capacidad diseñada es la máxima producción, que corresponde al año 2027 y se llega a producir 8 297 036 adoquines. Se trabajan 2 turnos de 16 horas cada uno, 3 días a la semana y las 52 semanas del año; por lo que la capacidad de diseño será de 3 324 adoquines/hora. El cálculo de la capacidad real es determinado por el primer año de proyección, el cual es 7 657 685 adoquines/año; y resulta 3 067 adoquines/hora. La relación entre ambos datos se establece como la capacidad utilizada, en este caso tiene un valor del 92,27%.

La maquinaria se seleccionó teniendo en cuenta el proceso de producción, la capacidad requerida, la disponibilidad en el mercado y el aspecto económico. Se dividió el proceso en dos partes: la primera comprende las actividades de trituración, extrusión y compactado; y la segunda el enfriado y curado, estas dos últimas ocurren una vez que el producto ha sido almacenado. El tiempo de ciclo establecido para la primera parte es 0,0473 min/kg y para la segunda es 28 días. El cuello de botella es 0,0171 min/kg, con este dato se halla la cantidad de estaciones, que es 3. La eficiencia con la que trabaja la planta de adoquines es 92,2%. La mano de obra requerida por turno es de 4 operarios.

Tabla 7. Maquinaria requerida en proceso productivo

Máquina	Tiempo de ciclo (min/kg)	Capacidad (kg/h)	Potencia (kW)
Trituradora	0,0171	3500,00	22,371
Extrusora	0,0150	4000,00	185
Prensa	0,0151	3962,88	1306

Fuente: Elaboración propia. En base a Alibaba.

Se realizó la distribución con enfoque en el producto, ya que los materiales fluyen a través de la maquinaria para producción de los adoquines. En la tabla 8 se muestran los valores mínimos requeridos por cada área de la planta de producción, calculados mediante al método Guerchet; se consideraron los elementos fijos y móviles, y también el Reglamento Nacional de

Edificaciones. Para determinar la proximidad de las áreas se empleó la metodología SLP y se elaboró el plano de distribución (ver anexos 1 y 2).

Tabla 8. Resumen de áreas mínimas requeridas

Área	m ²
Producción	636,53
Almacén de materia prima	419,57
Almacén de producto terminado	984,89
Área de Operaciones	8,47
Gerencia General	9,83
Secretaria	6,18
Área de Logística	8,49
Área de Finanzas	8,49
S.S.H.H. Producción	49,95
S.S.H.H. Área administrativa	2,58
Laboratorio de control de calidad	19,79
Caseta de vigilancia	4,54
Comedor	29,59
Estacionamiento	174,5
Patio de maniobras	873,43
Área de residuos sólidos	6,57
Áreas verdes	109,44
Total	3 236,83

Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, se requiere de personal calificado para cumplir con las funciones del puesto asignado; se debe considerar formación académica, competencias, experiencia y aptitudes. En la figura 3 se muestra el organigrama establecido. A continuación, se describen las funciones realizadas en cada área, así como el perfil de las jefaturas:

Gerencia general: Dirección, administración y representación de la empresa; así como actividades correspondientes a la gestión del talento humano. El Gerente general debe tener grado de Magister en Administración, Ingeniería Industrial o afines, con experiencia mínima de 3 años en puestos similares.

Área de Operaciones: Planificación, supervisión y evaluación del proceso productivo, y de inventario, programación y supervisión de los planes de mantenimiento, y de la seguridad y salud en el trabajo. El Jefe de Operaciones debe ser titulado en Ingeniería Industrial o carreras afines, con experiencia laboral de 2 años.

Área de Control de Calidad: Supervisión de la calidad de la materia prima y del producto terminado, elaboración de estrategias para mejora de la calidad y la evaluación de los instrumentos de control. El Jefe de Control de Calidad debe tener un título profesional en Ingeniería Industrial o carreras afines, con experiencia mínima de 1 año.

Área de Finanzas: Administración de recursos financieros, seguimiento al plan contable de la empresa y elaboración de estrategias financieras para asegurar la rentabilidad. El Jefe de

Finanzas debe ser titulado en las carreras profesionales de Contabilidad, Economía, Administración o afines, con experiencia laboral de 2 años.

Área de Comercialización: Planificación, control y evaluación del plan estratégico comercial, así como de la distribución del producto; elaboración del plan de marketing de la empresa y de las cotizaciones. El Jefe Comercial debe tener título profesional en las carreras profesionales de Administración, Ingeniería Industrial o afines, con experiencia mínima de 1 año.

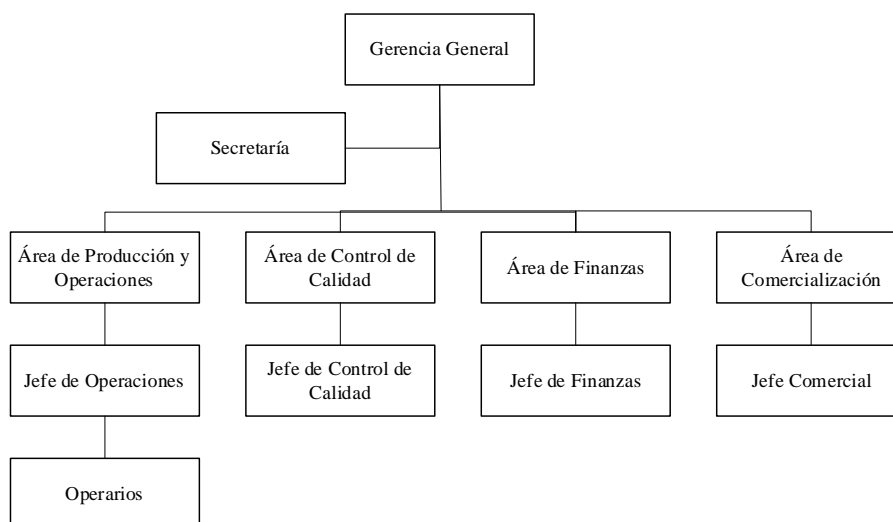


Figura 3. Organigrama

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación económico - financiera

La inversión fija o tangible del proyecto equivale a S/. 3 355 882,50 y comprende los costos de terreno, construcciones, infraestructura industrial, instalaciones eléctricas, maquinaria, equipo de producción y de oficina (ver tabla 9). El costo de terreno asciende a S/. 1 834 164,00, pues el área establecida por el diseño de la planta es 4957,2 m² y el costo es 100 USD/m². Para el cálculo del costo de construcciones, infraestructura industrial e instalaciones se tomaron los Valores Unitarios Oficiales de Edificación para el año 2021 [28]. Se convirtieron los precios de la maquinaria, provistos por los proveedores en dólares americanos, a nuevos soles. Los costos de los equipos de producción y de oficina fueron calculados con los precios ofrecidos por el mercado nacional.

Tabla 9. Inversión tangible

Descripción	Total
Terrenos	S/. 1 834 164,00
Construcciones	S/. 633 020,75
Infraestructura industrial	S/. 419 420,72
Instalaciones	S/. 21 579,35
Maquinaria	S/. 400 143,90
Equipo de producción	S/. 30 097,28
Equipos de oficina	S/. 17 456,50
Total	S/. 3 355 882,50

Fuente: Elaboración propia.

La inversión diferida o intangible asciende a S/. 144 262,07; abarca los siguientes gastos pre – operativos: licencia municipal de funcionamiento, elaboración de planos, licencia de construcción, inscripción a Registros Públicos, certificado de Defensa Civil y los gastos correspondientes a importación de maquinaria (flete, seguro e impuestos).

El capital de trabajo incluye costos de producción, gastos administrativos, gastos de comercialización y gastos financieros. En la tabla 10 se detalla el capital de trabajo requerido en los 5 años proyectados, al obtener valores positivos en la utilidad acumulada desde el primer año se evaluó mensualmente para obteniendo el valor de S/. 70 373,24.

Los costos de producción comprenden los costos de la materia prima (residuos plásticos y arena, con un costo por kilogramo de S/.0,60 y S/. 0,17, respectivamente), los sueldos y beneficios de la mano de obra directa e indirecta, y el consumo de energía eléctrica para la elaboración de adoquines.

Los gastos administrativos y gastos de comercialización incluyen los sueldos y beneficios del personal, materiales de oficina, servicios de telefonía e internet, consumo de agua y de energía eléctrica.

Los gastos financieros comprenden las amortizaciones e intereses a pagar periódicamente por el préstamo de S/. 2,841,975.00, a 10 años y con una tasa de interés de 19%, para la ejecución del proyecto.

La suma de la inversión tangible, intangible y capital de trabajo es la inversión total del proyecto; se considera también un 5% de la inversión tangible e intangible para imprevistos. La inversión total equivale a S/. 3 745 525,04, donde el 24,12% será asumido por el promotor y el 75,88% restante será financiado por una entidad bancaria, como se muestra en la tabla 11.

La cantidad mínima de producción y venta de adoquines en la cual no se generan pérdidas ni ganancias, pues ingresos y egresos son iguales, se conoce como punto de equilibrio. El primer año es de 4 268 777 unidades, lo que equivale a S/. 4 268 777,07, y cada año va disminuyendo hasta alcanzar las 3 264 162 unidades o S/. S/ 3 264 161,97 en el quinto año.

Tabla 10. Capital de trabajo

	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
<u>Ingresos</u>	S/. 7 657 685,00	S/. 7 817 768,00	S/. 7 976,680 00	S/. 8 137,483,00	S/. 8,297,036.00
Total, Ingresos	S/. 7 657 685,00	S/. 7 817 768,00	S/. 7 976,680 00	S/. 8 137,483,00	S/. 8,297,036.00
<u>Egresos</u>					
Costos de producción	S/. 5 749 473,40	S/. 5 847 804,38	S/. 5 945 416,08	S/. 6 044 189,32	S/. 6 142 194,75
Gastos administrativos	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34
Gastos de comercialización	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61
Intereses	S/. 539 975,25	S/. 485 977,72	S/. 431 980,20	S/. 377 982,67	S/. 323 985,15
Amortizaciones	S/. 284 197,50	S/. 284 197,50	S/. 284 197,50	S/. 284 197,50	S/. 284 197,50
Total, Egresos	S/. 6 813 206,10	S/. 6 857 539,56	S/. 6 901 153,73	S/. 6 945 929,45	S/. 6 989 937,35
Saldo (Déficit/superávit)	S/. 844 478,90	S/. 960 228,44	S/. 1 075 526,27	S/. 1 191 553,55	S/. 1 307 098,65
Utilidad acumulada	S/. 844 478,90	S/. 1 804 707,35	S/. 2 880 233,62	S/. 4 071 787,17	S/. 5 378 885,82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Inversión total del proyecto

Descripción	Inversión total	Promotor del proyecto	Financiamiento
Capital de trabajo	S/. 70 373,24	S/. 70 373,24	
<u>Inversión Tangible</u>			
Terrenos	S/. 1 834 164,00	S/. 366 832,80	S/. 1 467 331,20
Construcciones	S/. 633 020,75		S/. 633 020,75
Infraestructura industrial	S/. 419 420,72		S/. 419 420,72
Instalaciones	S/. 21 579,35	S/. 21 579,35	
Maquinaria	S/. 400 143,90	S/. 108 038,85	S/. 292 105,05
Equipo de producción	S/. 30 097,28		S/. 30 097,28
Equipos de oficina	S/. 17 456,50	S/. 17 456,50	
Total, Inversión Tangible	S/. 3 355 882,50	S/. 513 907,50	S/. 2 841 975,00
<u>Inversión Intangible</u>			
Gastos pre - operativos	S/. 144 262,07	S/. 144 262,07	
Total, Inversión Intangible	S/. 144 262,07	S/. 144 262,07	
Imprevistos (5%)	S/. 175 007,23	S/. 175 007,23	
Inversión total	S/ 3 745 525,04	S/ 903 550,04	S/ 2 841 975,00

Fuente: Elaboración propia.

La tasa mínima aceptada de rendimiento (TMAR) para el presente proyecto se calculó a partir de la ganancia esperada por los inversionistas, que es de 25%, y la tasa de inflación, que según el Reporte de Inflación del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) [29] en marzo de 2021 fue de 2%, obteniendo un TMAR de aportación del inversionista de 29%. Al considerar el financiamiento del banco, cuya tasa de interés es de 19%, se calcula el TMAR global, que resulta 21%.

Tras el cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) se obtuvieron valores de S/. 1 154 758,37 y 64%, respectivamente. Al ser el VAN positivo y el TMAR menor que el TIR, se puede afirmar que el proyecto es viable. En cuanto al análisis costo - beneficio, el resultado fue de 1,13, lo cual quiere decir que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de S/. 0,13. En la tabla 12 se muestra el flujo de caja por los 5 años proyectados, donde a partir del segundo año se obtienen S/. 242 813,05 de utilidad acumulada.

Tabla 12. Flujo de caja

Ítems	0 año	1er año	2do año	3er año	4to año	5to año
<u>Inversión</u>						
Capital Social	S/. 903 550,04					
Préstamos a CP y LP	S/. 2 841 975,00					
Total, Inversión	S/. 3 745 525,04					
<u>Ingresos</u>						
Ventas al contado		S/. 4,594,611,00	S/. 4 690 660,80	S/. 4 786 008,00	S/. 4 882 489,80	S/. 4 978 221,60
Ventas a crédito (30 días)		S/. 2,807,817,83	S/. 3 121 771,10	S/. 3 185 374,93	S/. 3 249 633,10	S/. 3 313 495,97
Tota, Ingresos		S/. 7,402,428,83	S/. 7 812 431,90	S/. 7 971 382,93	S/. 8 132 122,90	S/. 8 291 717,57
<u>Egresos</u>						
Costos de producción		S/. 5 749 473,40	S/. 5 847 804,38	S/. 5 945 416,08	S/. 6 044 189,32	S/. 6 142 194,75
Gastos administrativos		S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34	S/. 196 956,34
Gastos de comercialización		S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61	S/. 42 603,61
Gastos financieros		S/. 824 172,75	S/. 770 175,22	S/. 716 177,70	S/. 662 180,17	S/. 608 182,65
Depreciación		S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57
Total, Egresos		S/. 6 922 343,66	S/. 6 966 677,12	S/. 7 010 291,29	S/. 7 055 067,01	S/. 7 099 074,92
Saldo bruto (antes de impuestos)		S/. 480 085,17	S/. 845 754,78	S/. 961 091,64	S/. 1 077 055,89	S/. 1 192 642,65
Impuesto a la renta (30%)		S/. 144 025,55	S/. 253 726,43	S/. 288 327,49	S/. 323 116,77	S/. 357 792,80
Saldo (después de impuestos)		S/. 336 059,62	S/. 592 028,35	S/. 672 764,15	S/. 753 939,12	S/. 834 849,86
Depreciación		S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57	S/. 109 137,57
Saldo final (déficit/superávit)	-S/. 903 550,04	S/. 445 197,18	S/. 701 165,91	S/. 781 901,71	S/. 863 076,69	S/. 943 987,42
Utilidad acumulada	-S/. 903 550,04	-S/. 458 352,86	S/. 242 813,05	S/. 1 024 714,76	S/. 1 887 791,45	S/. 2 831 778,87

Fuente: Elaboración propia.

Indicador de reducción de contaminación

En la tabla 13 se muestra la generación histórica de residuos plásticos desde el año 2013 a 2019, se obtuvo de los reportes de estadísticas ambientales de la Región Lambayeque [4] [33] [34], considerando que el 10,52% de residuos sólidos corresponden a residuos plásticos [3].

Tabla 13. Generación histórica de residuos plásticos en la Región Lambayeque

Año	Residuos sólidos (t/año)	Residuos plásticos (t/año)
2013	178 850,00	18 815,02
2014	185 131,86	19 475,87
2015	209 774,09	22 068,23
2016	208 203,71	21 903,03
2017	213 775,70	22 489,20
2018	291 092,74	30 622,96
2019	326 686,56	34 367,43

Fuente: Elaboración propia. En base a Ministerio del Ambiente (MINAM).

Mediante regresión lineal se proyectó que al año 2027 se generarían 46 547,08 toneladas de residuos plásticos; además, se conoce que el 93,33% de los residuos sólidos tienen como disposición final botaderos municipales [7], esto equivale a 43 444,26 toneladas, de las cuales el presente proyecto aprovecharía 8 064,72 toneladas (ver tabla 14). El presente proyecto al año 2027 reduciría un 18,56% de la cantidad de residuos plásticos cuyo destino final es un botadero municipal.

Tabla 14. Aprovechamiento de residuos plásticos

Año	Residuos plásticos generados (t/año)	Residuos plásticos destinados a botaderos (t/año)	Residuos plásticos aprovechados	
			t/año	%
2023	36 636,74	34 194,54	7 443,27	21,77%
2024	39 114,33	36 506,97	7 598,87	20,81%
2025	41 591,91	38 819,40	7 753,33	19,97%
2026	44 069,49	41 131,83	7 909,63	19,23%
2027	46 547,08	43 444,26	8 064,72	18,56%

Fuente: Elaboración propia.

Discusiones

Para el estudio de mercado del presente proyecto se determinó la demanda con la cantidad de kilómetros sin pavimentar de la Red Vial Vecinal de la Región Lambayeque y las vías que se construirán en los próximos años, concluyendo en que se abarcará el 1% de la demanda insatisfecha; Tejada y Loayza [30] emplearon un método similar: determinaron la demanda según la cantidad de vías urbanas en estado grave que no habían recibido mantenimiento a la fecha de su investigación y las vías por construir en los años siguientes; en dicha investigación se pretende cubrir el 0,5% de la demanda insatisfecha.

La localización del presente proyecto se determinó mediante factores ponderados, siendo la disponibilidad de materia prima, de mano de obra y vías de acceso los más importantes para la macro localización; y para la micro localización, los mencionados anteriormente y la

disponibilidad de servicios básicos. Chambi, Molero y Paucara [31] en su investigación establecieron la macro localización seleccionando a la ciudad de Arequipa por el desarrollo industrial, la disponibilidad de materia prima y factores climáticos; para la selección de la micro localización emplearon la metodología mencionada previamente, considerando los factores: costo del terreno, disponibilidad de materia prima y mano de obra, cercanía a puntos de venta y vías de acceso.

Arévalo y López [32] emplearon los métodos Guerchet y Systematic Layout Planing (SLP) para determinar las áreas requeridas por la planta y su distribución. Las áreas consideradas fueron: zona de estiba de adoquín, almacenes de materia prima y producto terminado, cuarto de curado, laboratorio de calidad, patio de ensayo de materiales, área de producción, taller de mecánica, comedor, servicios higiénicos, caseta de vigilancia, oficinas administrativas, estacionamiento y área de maniobras. El presente proyecto empleó los mismos métodos y se consideraron las mismas áreas; a excepción de cuarto de curado (pues este proceso se lleva a cabo en el almacén de producto terminado), patio de ensayo de materiales y taller de mecánica; sin embargo, se tomaron en cuenta áreas verdes y un área de residuos sólidos.

El presente proyecto requiere de una inversión total de S/. 3 745 525,04, cuya tasa interna de retorno (TIR) es 64%, el beneficio es S/. 0,13 por cada sol invertido y un periodo de recuperación de 2 años. La investigación realizada por Chambi, Molero y Paucara [31] presenta una producción anual equivalente al 30,88% del presente proyecto (2 562 626 adoquines); sin embargo, alcanzaron una inversión total de S/. 629 899, que representa solo el 16,81% de la inversión de la presente investigación; esta desproporción se debe a un costo de terreno elevado (228,38% de lo esperado) y la consideración de costos de importación de maquinaria (S/. 140 778,77); esta investigación obtuvo un periodo de recuperación de 3,65 años y con un TIR de 36,94%, observando que los egresos de los dos primeros años cubren el 99,93% y 88,39% de los ingresos, respectivamente.

Conclusiones

La instalación de una planta de producción de adoquines en la Región Lambayeque aprovechando los residuos plásticos para reducir la contaminación ambiental es un proyecto viable en términos comerciales, técnicos y económicos; logrando reducir al 2027 un 18,56% de la cantidad de residuos plásticos cuyo destino final es un botadero municipal.

Mediante el estudio de mercado se determinó que para el año 2027 la oferta cubriría el 0,17% de la demanda; generando una demanda insatisfecha de 16 495 101,41 m², de la cual el proyecto abarcará el 1%.

Se logró diseñar una planta con una capacidad utilizada de 92,27% y una eficiencia de 92,2%.

La inversión total para la instalación de la planta es S/. 3 745 525,04. Tras la evaluación económico – financiera, con un TMAR de 21%, se obtuvo un costo - beneficio de S/. 0,13 por cada sol invertido, un VAN de S/. 1 154 758,37 y un TIR de 64%.

Recomendaciones

Estudiar la implementación de un sistema de abastecimiento de los residuos plásticos para la elaboración de los adoquines, abarcando los procesos de acopio, clasificación, selección y limpieza de los residuos.

Realizar estudios experimentales para determinar un único tipo de residuo plástico que pueda ser aprovechado como materia prima en la elaboración de adoquines, para implementar un sistema de acopio exclusivo de dicho material.

Referencias

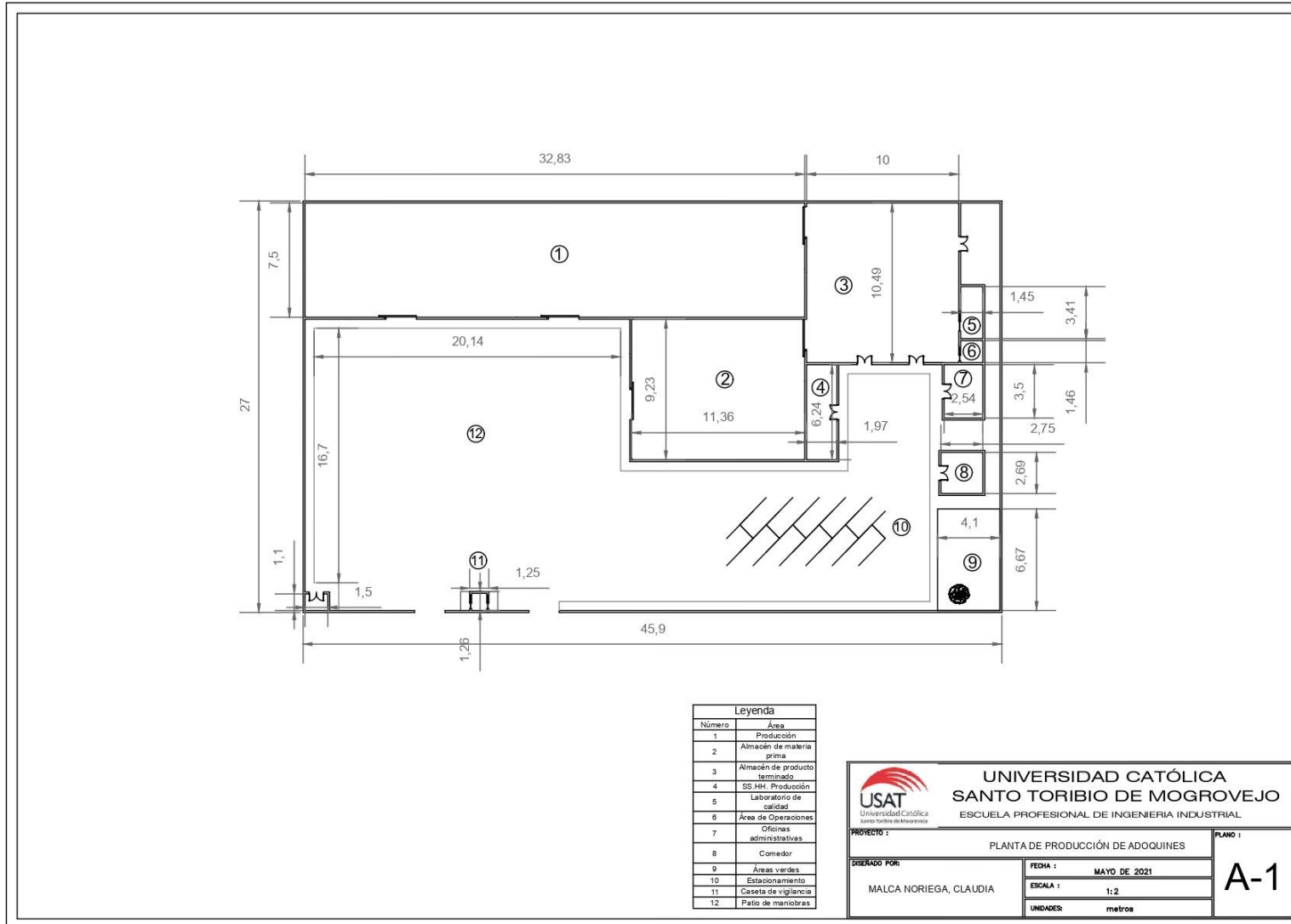
- [1] United Nations Environment Programme (UNEP), «The state of plastics: World Environment Day Outlook 2018,» 2018. [En línea]. Available: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: Mayo 2020].
- [2] L. Parker, «Ahogados en un mar de plástico,» National Geographic, 8 Junio 2019. [En línea]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/ahogados-mar-plastico_12712/17. [Último acceso: Mayo 2020].
- [3] World Bank, «What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management,» 2018. [En línea]. Available: <http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [4] Ministerio del Ambiente (MINAM), «Lambayeque: estadísticas ambientales, junio 2020,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/lambayeque-estadisticas-ambientales-junio-2020>. [Último acceso: Diciembre 2020].
- [5] Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos - MINAM, «Mapa de Infraestructura de Disposición Final,» 13 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/671938/IDF.pdf>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [6] Ministerio del Ambiente (MINAM), «Listado de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos,» 13 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/671937/Listado_de_Rellenos_13.01.2020.pdf. [Último acceso: Mayo 2020].
- [7] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), «Registro Nacional de Municipalidades - RENAMU,» Marzo 2019. [En línea]. Available: http://iinei.inei.gob.pe/microdatos/Consulta_por_Encuesta.asp. [Último acceso: Mayo 2020].
- [8] Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), «Áreas degradadas por residuos sólidos municipales,» Ministerio del Ambiente (MINAM), 2018. [En línea]. [Último acceso: Mayo 2020].

- [9] RPP Noticias, «Lambayeque es la región con mayor área de basurales del país,» Radio Programas del Perú (RPP), 6 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/lambayeque/lambayeque-es-la-region-con-mas-areas-degradadas-por-residuos-solidos-noticia-1167903?ref=rpp>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [10] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), «Áreas degradadas por Residuos Sólidos,» [En línea]. Available: <https://oefa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6a530906bcdd44d388d6c032d7cb844a>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [11] H. Rodríguez, «La degradación del plástico potencia el efecto invernadero,» National Geographic, 02 Setiembre 2019. [En línea]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/degradacion-plastico-potencia-efecto-invernadero_13126. [Último acceso: Mayo 2020].
- [12] K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes y S. E. Dudas, «Human Consumption of Microplastics,» *Environmental Science & Technology*, vol. 53, n° 12, pp. 7068-7074, 2019.
- [13] Instituto Nacional de Salud - MINSA, «Vigilancia de Residuos Sólidos,» 2017. [En línea]. Available: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4519.pdf>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [14] Gobierno Regional de Lambayeque, «Plan de Desarrollo Regional Concertado Lambayeque 2030,» 10 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://siga.regionlambayeque.gob.pe/docs/ainformacion/040120191036391484704185.pdf>. [Último acceso: Junio 2020].
- [15] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), «Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial,» 12 Enero 2018. [En línea]. Available: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf. [Último acceso: Junio 2020].
- [16] UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. *Adoquines de concreto para pavimentos. Requisitos*, NTP 399.611:2017.
- [17] S. K. Tulashie, E. K. Boadu, F. Kokota y D. Mensah, «Plastic wastes to pavement blocks: A significant alternative way to reducing plastic wastes generation and accumulation in Ghana,» *Construction and Building Materials*, vol. 241, p. 118044, 2020.

- [18] S. Agyeman, N. K. Obeng-Ahenkora, S. Assiamah y G. Twumasi, «Exploiting recycled plastic waste as an alternative binder for paving blocks production,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 11, 2019.
- [19] J. Ghuge, S. Surale, B. M. Patil y S. B. Bhutekar, «Utilization of Waste Plastic in Manufacturing of Paver Blocks,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 6, n° 4, 2019.
- [20] A. Kumi-Larbi Jnr, D. Yunana, P. Kamsouloum, M. Webster, D. C. Wilson y C. Cheeseman, «Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks,» *Waste Management*, vol. 80, pp. 112-118, 2018.
- [21] B. Shanmugavalli, K. Gowtham, P. Jeba Nalwin y B. Eswara Moorthy, «Reuse of Plastic Waste in Paver Blocks,» *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 6, n° 2, 2017.
- [22] «Ventajas y aplicaciones de pavimentos articulados (Adoquines de concreto),» Civil Geeks, 2 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2017/02/27/ventajas-aplicaciones-pavimentos-articulados-adoquines-concreto/>. [Último acceso: Junio 2020].
- [23] Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - MTC, «Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción,» Setiembre 2015. [En línea]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf. [Último acceso: Junio 2020].
- [24] «PISOS DE ADOQUINES DE HORMIGÓN,» Estilo Propio, 27 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://revistaestilopropio.com/nota/pisos-adoquines-hormigon/>. [Último acceso: 1 Mayo 2021].
- [25] elEconomista América, «PERUCÁMARAS: El 84,2% de carreteras en la Macro Región Norte no está pavimentado,» elEconomista América, 12 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.economistaamerica.pe/economia-eAmperu/noticias/10884214/11/20/PERUCAMARAS-El-842-de-carreteras-en-la-Macro-Region-Norte-no-esta-pavimentado.html>. [Último acceso: 11 Abril 2021].

- [26] J. P. Salazar Oliva, R. Seminario Regalado, A. R. Tineo Camacho y J. C. Zapata Valladolid, *Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado*, Piura: Universidad de Piura, 2015.
- [27] R. M. C. Seminario Chávez, K. V. Chorres Panta, R. J. Rivas Machare, G. M. Ruesta Izaguirre y D. A. Sota Calderón, *Diseño de una planta productora de adoquines con agregados de concha de abanico*, Piura: Universidad de Piura, 2018.
- [28] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 270-2020-VIVIENDA,» 30 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-los-valores-unitarios-oficiales-de-edificacion-para-resolucion-ministerial-n-270-2020-vivienda-1898559-1>. [Último acceso: 14 Mayo 2021].
- [29] Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), «Síntesis Reporte de Inflación: Marzo 2021,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Reporte-Inflacion/2021/marzo/reporte-de-inflacion-marzo-2021-sintesis.pdf>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [30] Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), «Generación de residuos sólidos domiciliarios por departamento,» Ministerio del Ambiente (MINAM), 2017. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1600>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [31] Ministerio del Ambiente (MINAM), «Lambayeque: estadísticas ambientales, diciembre 2019,» 30 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/lambayeque-estadisticas-ambientales-diciembre-2019>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [32] M. A. Tejada Fernández y E. G. Loayza Palazuelos, *Proyecto de inversión para la producción y comercialización de adoquines ecoamigables hechos a partir de residuos mineros en la provincia de Arequipa al 2017*, Arequipa: Universidad Católica San Pablo, 2017.
- [33] R. C. Chambi Hilaje, S. N. Molero Lovón y P. E. Paucara Vilca, *PLAN DE NEGOCIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA FÁBRICA DE ADOQUINES DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA*, Arequipa: Universidad ESAN, 2017.
- [34] V. E. Arévalo Gonzáles y C. E. López Yarlequé, *Diseño de una fábrica de adoquines de garbancillo residual en el departamento de Piura*, Piura: Universidad de Piura, 2017.

Anexo 2: Plano de la planta de producción



 UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
PROYECTO : PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ADOQUINES	PLANO : A-1
DISEÑADO POR: MALCA NORIEGA, CLAUDIA	FECHA : MAYO DE 2021
	ESCALA : 1:2
	UNIDADES: metros