



SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGÍA

DISEÑO DE UN MOLINO DESMENUZADOR PRIMARIO DE ARCILLA PARA LA PLANTA DE CEMENTO LC2

DESIGN OF A PRIMARY CLAY CRUSHING ROLLS FOR THE LC2 CEMENT PLANT.

Feliberto Fernández Castañeda¹, Andy Jiménez Mirabal², Osmany Ruiz García³,
Gabriel García Torres⁴

- 1- Feliberto Fernández Castañeda.: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. felifc@uclv.edu.cu
- 2- Andy Jiménez Mirabal. Empresa Planta Mecánica de Santa Clara "Fabric Aguiar Noriega", Cuba. andyji@nauta.cu
- 3- Osmany Ruiz García. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. osruiz@uclv.cu
- 4- Gabriel García Torres. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. ggtorres@uclv.cu

Resumen:

En el trabajo se aborda el diseño de un molino desmenuzador primario de la arcilla utilizada para la fabricación del cemento de bajo carbono LC2, desarrollado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. El cual se pretende producir a escala industrial, a partir de la experiencia de la Planta Experimental para la producción de cemento existente en la UCLV. En ese sentido, se decidió desarrollar un grupo de plantas productoras de cemento en diferentes regiones del país. Lo cual forma parte de un proyecto conjunto de la UCLV, la Empresa "Planta Mecánica" de Santa Clara y la Empresa Geominera del Centro (EGMC). La propuesta del proyecto se formula en la necesidad de diseñar un molino desmenuzador para la trituración primaria de la arcilla que contribuya al mejoramiento de la materia prima recibida.

Para este propósito se realizó un estudio de los molinos trituradores de materiales de construcción y de las desmenuzadoras de arcilla que se fabrican en el mundo. Se definió



el diseño conceptual, estableciendo los parámetros y requerimientos técnicos, así como las características de las partes y piezas que contienen el sistema de transmisión del molino. Por último, se realizó el diseño automatizado de las mismas, utilizando herramientas CAD, específicamente el SolidWorks, versión 2018, elaborando toda la documentación técnica necesaria para su construcción.

Abstract:

This work is about the design of a primary crushing rolls of the clay used for the production of the cement of low carbon LC2, developed by the Center of Investigations and Development of Structures and Materials (CIDEM) of the Central University "Marta Abreu" de Las Villas, which is intended to be produced on an industrial scale, starting from the Experimental Plant for the production of existent cement in UCLV experience. In this way was decided to develop a group of cement-producing plants in different regions of Cuba. Which is part of a combined project of UCLV, the "Planta Mecánica" Company of Santa Clara and the "Geominera del Centro" Company (EGMC). The project proposal is formulated in the necessity of designing a crushing rolls for the primary trituration of the clay that contributes to the improvement of the raw material received.

For this purpose, a study was carried out of the crushing mills of construction materials and clay crushers manufactured in the world. The conceptual design was defined, establishing the parameters and technical requirements, as well as the characteristics of the parts and pieces that the transmission system of the crushers contained. Finally, the automated design of the same ones was carried out, using tools CAD, specifically SolidWorks, release 2018, preparing all the technical documentation necessary for their construction.

Palabras Clave: Molino desmenuzador; Arcilla, Cemento; Diseño mecánico; CAD.

Keywords: Crushing rolls; Clay; Cement; Mechanical Design; CAD.

1. Introducción

La producción y demanda de materiales de la construcción se incrementa cada día en el mundo. En Cuba las necesidades económicas industriales y sociales hacen de la producción de cemento una prioridad. Sin embargo, los efectos negativos por el consumo energético y el impacto ambiental generan la necesidad de encontrar



alternativas que contribuyan a disminuir el agotamiento de recursos naturales, la generación de residuos y diversas formas de contaminación como son las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) (Hill and Bowen, 1997).

Es por ello que la industria cementera cubana traza estrategias para economizar el combustible y minimizar los efectos ambientales. Para ello el país desarrolla diversos estudios en aras de producir nuevos tipos de cementos de bajo costo con los parámetros técnicos y tecnológicos requeridos para la construcción. (Pérez, 2013).

En la búsqueda de alternativas el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas desarrolló el cemento de bajo carbono, denominado LC2 y que actualmente se elabora a pequeña escala en dicho centro. Es un cemento ecológico que contiene menos clínker, el cual es el elemento más contaminante. Además utiliza menos consumo de combustible, reduciendo las emisiones de CO_2 hasta en un 30 % (Cubadebate, 2021).

Por tanto, a partir de esta experiencia el país decidió desarrollar un grupo de plantas productoras de cemento de bajo carbono a escala industrial en diferentes regiones. Para ello se ejecuta un proyecto conjunto de la UCLV, la Empresa Planta Mecánica de Santa Clara y la Empresa Geominera del Centro, así como otras empresas de varios territorios. Dichas plantas requieren, de un conjunto de equipamientos, elementos mecánicos y de almacenamiento, dosificación y transportación de materiales, distribuidos en las diferentes áreas de la planta.

Es precisamente en el área de preparación de arcilla de la planta (que constituye uno de los ingredientes principales del cemento) y de los equipos empleados para el proceso de trituración primaria de la arcilla, donde se centra el presente trabajo, brindando un pequeño aporte en ese sentido. Específicamente aborda el diseño de un molino desmenuzador de la arcilla proveniente de las canteras, que permite reducir el tamaño de los terrones para facilitar la calcinación de la misma en el horno rotatorio, que forma parte del proceso .

2. Metodología

Primeramente se realizó un análisis bibliográfico en la literatura especializada sobre el tema, donde se constató que dentro de la Planta de cemento de bajo carbono, en el área



de preparación de la arcilla, se deben precisar algunos aspectos que constituyen requisitos importantes para el diseño del molino, como son:

- Propiedades y características del material a procesar
- Equipos empleados para el proceso de preparación
- Recepción y suministro del material a procesar

Caracterización del material a procesar

La arcilla es una roca sedimentaria que tiene propiedades y cualidades que la hacen uno de los principales componentes de las materias primas empleados en la fabricación de cemento.

- **Dureza:** En la escala Mosh de 2 a 2,5 (Similar al Yeso)
- **Densidad:** de 1000 a 1900 kg/m³ según literatura (1300kg/m³)
- **Masa promedio de un grano de arcilla: 4,5g** (tomado de la literatura)
- **Plasticidad:** Excelente (moldeable)

Sistema de preparación primaria de la arcilla

En el proceso de preparación de la arcilla, se requiere reducir el tamaño mediante un proceso de molienda, empleando un equipo capaz de desmenuzarla al tamaño requerido. En los procesos industriales, la reducción de tamaño se realiza por distintos métodos y con fines diferentes. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son: compresión, impacto, rozamiento y corte. En este sentido se fabrican en el mundo diferentes equipos de trituración que se diferencian por el principio de funcionamiento, sus dimensiones, la capacidad de producción y la granulometría que entregan a la salida. Relacionado con los criterios para dimensionar la máquina se hizo importante definir lo siguiente:

- Tamaño máximo del material a triturar
- Capacidad (caudal)
- Reglaje (abertura de la boca de salida y posición)
- Granulometría a la salida
- Potencia necesaria

En ese sentido, los molinos desmenuzadores de arcilla son equipos robustos y adecuados para la reducción primaria del tamaño de la arcilla, después de un almacenaje previo y garantizando un porcentaje de humedad por debajo del 20% y una dureza



máxima de 5 Mohs. Su instalación admite diferentes configuraciones de alimentación, ya sea carga directa, con volquete o pala cargadora, así como también dosificada mediante alimentadores lineales o cintas transportadoras.

Un rango ideal de tamaños y configuraciones le otorgan una excelente flexibilidad y adaptación para diferentes aplicaciones llegando a producciones de hasta 400 ton/h. (Catálogo I PIACNERY.)

Como resultado del proyecto conjunto desarrollado por la UCLV, Planta Mecánica y la Geominera del Centro se diseñó un molino desmenuzador de arcilla. Para garantizar el tamaño y granulometría de la arcilla a calcinar en el horno rotatorio. El cual tiene una capacidad de 2ton/h (2000Kg/h) para cubrir la demanda de producción de la planta

Diseño conceptual del molino triturador de arcilla

Para el caso específico del proyecto, relacionado con la preparación primaria de arcilla para la planta de fabricación de cemento LC2 se realizó una revisión bibliográfica de algunos de los principales fabricantes de estos equipos reportados en la literatura técnica. En ese sentido se tomaron como referencias fabricantes como la firma **IPIAC Nery**, que engloba empresas en España, Portugal, Brasil e Italia, totalmente dedicadas al sector de la cerámica estructural. Otra empresa dedicada a la construcción de productos similares es la **ROMAR-BOSQUE S.A**, de España donde fabrican máquinas muy fuertes y compactas, donde refieren las siguientes características:

- Tritura todo tipo de materiales cuya dureza de la escala Mosh sea menor de 5.
- Platos de fundición de acero con posibilidad de recargue de tungsteno.
- Rodamientos protegidos con carcasas y retenes, que garantizan una perfecta estanqueidad.

Estos trituradores presentan varios elementos importantes a considerar en el diseño del molino:

- Un eje corta terrones montado sobre dos cilindros desmenuzadores.
- Raspaderas de limpieza de fácil ajuste.
- Caja reductora en el interior de los laterales con engranajes fresados y lubricados.



**III Convención Científica Internacional UCLV 2021
Ciencia, Tecnología y Sociedad.
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**

- Rodamientos sobredimensionados y protegidos por laberintos con puntos de inyección de grasa
- Dispositivo de seguridad por eventuales sobrecargas, con fusible de seguridad de fácil acceso
- Posibilidad de desmontar/montar las cuchillas sin tener que sacar los discos de la máquina.

La velocidad de funcionamiento oscila entre los 300rpm y la potencia entre 18 y 45kW para una capacidad de 15 a 80 ton/h respectivamente.

Otra firma, **VERDES**, radicada en España como **Talleres Felipe Verdés. S.A.** pero con filiales en Portugal, Marrueco, Argelia, La India y Rusia fabrica máquinas similares, formada por dos cajas electro soldadas de gran robustez unidas por dos placas con estructura nervada que otorgan a todo el conjunto una elevada resistencia para soportar los grandes esfuerzos a los que está sometido. Tanto las cajas como las placas, pueden revestirse de chapas anti-desgaste recambiables, con el fin de proteger la zona de trituración en caso de materiales con índices de abrasión elevados. El conjunto de engranajes, lubricados por baño de aceite, se encuentra repartido en las cajas herméticas que forman la bancada. Estos son los encargados de transmitir sincronizadamente la potencia y las diferentes velocidades de trabajo a cada uno de los ejes. La desmenuzadora dispone de 3 ejes, uno superior y dos inferiores:

Eje superior: Fragmenta los bloques más grandes e impide la formación de puentes en la tolva de carga.

Dos Ejes de trituración: Los ejes de trituración cuentan con martillos de material anti-desgaste montados sobre platos ranurados de acero. Ambos están sincronizados girando en sentido opuesto y a diferente velocidad, lo cual proporciona un excelente desmenuzado.

Un sistema de laberintos y retenes elásticos garantiza la estanqueidad de los rodamientos, evitando la entrada de material y asegurando su vida útil. Los ejes



incorporan rodamientos de doble hilera de rodillos oscilantes de alta capacidad de carga para responder a condiciones de máxima exigencia.

Un sistema de raspadores mantienen los platos ranurados limpios y libres de material para lograr la máxima efectividad de trituración.

Selección de la alternativa de diseño de Molino triturador de arcilla

Para determinar los parámetros cinemáticos del molino se partió de la necesidad de la Planta de fabricación de cemento LC2, que requiere un molino triturador con una capacidad de 2ton/h (2000Kg/h) para cubrir la demanda de producción que requiere posteriormente el horno de calcinación.

Existiendo disimiles formas de optar por un diseño geométrico y, teniendo en cuenta los criterios que reporta la literatura para la trituración primaria de arcilla, se decidió diseñar una desmenuzadora o triturador de Cuchillas. En realidad este equipo es un híbrido que combina las ventajas de los molinos de martillo y de cuchilla. Estas desmenuzadoras de 3 ejes tienen una estructura compacta y eficiente, capaz de cumplir con los parámetros requeridos, de triturar las partículas a un mismo tamaño granulométrico y antecedido por una tolva capaz de abastecer al molino de una manera constante.

El suministro de arcilla al molino triturador se lleva a cabo mediante una tolva receptora y un Alimentador (acoplado a la boca de entrada del molino), montados todos en una estructura de acero. La tolva junto al sistema de alimentación canaliza el flujo uniforme de arcilla al molino.

3. Resultados y discusión

El molino desmenuzador diseñado y denominado "MTPA-LC2", es una máquina destinada a la trituración primaria de arcilla. En la figura 1 se muestra el modelo tridimensional (3D) del conjunto conformado por el molino triturador y la fuente motriz colocados en la estructura base. El molino, como tal; consta de un módulo de más de 300 partes y piezas, fundamentalmente de acero (sin incluir la tornillería y otros elementos normalizados) que al ensamblarse no exceden la altura de 1178 mm, un ancho de 1060 mm, una longitud de 1178 mm y una masa de 1908 kg en total.

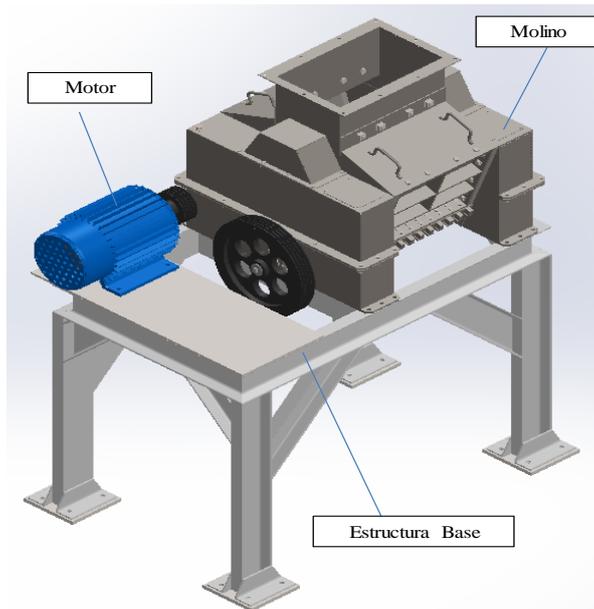


Figura 1. Modelo tridimensional del Molino desmenuzador de arcilla "MTPA-LC2" montado en su base y con el motor acoplado (elaboración propia)

Partes y componentes del molino desmenuzador de arcilla MTPA-LC2

La estructura base que soporta al molino y el motor eléctrico aparece en la figura 2 y está conformada por perfiles UPN180. Tanto el molino como el motor se colocan mediante pernos en ranuras elaboradas en la estructura base que permiten el desplazamiento en los ejes respectivos para posibilitar la instalación y alineación correcta a la distancia entre centros establecida para el tensado de las correas.

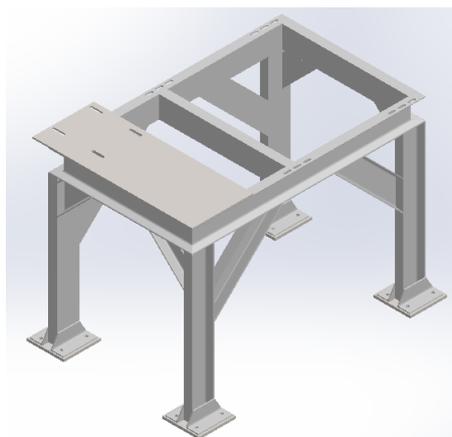


Figura. 2. Modelo de la estructura base que soporta al Molino desmenuzador primario de Arcilla (elaboración propia)

Las partes del molino desmenuzador primario de arcilla son las que se muestran en el modelo 3D de la figura 3. El cual, en esencia, conforma un conjunto de varios sistemas integrados:

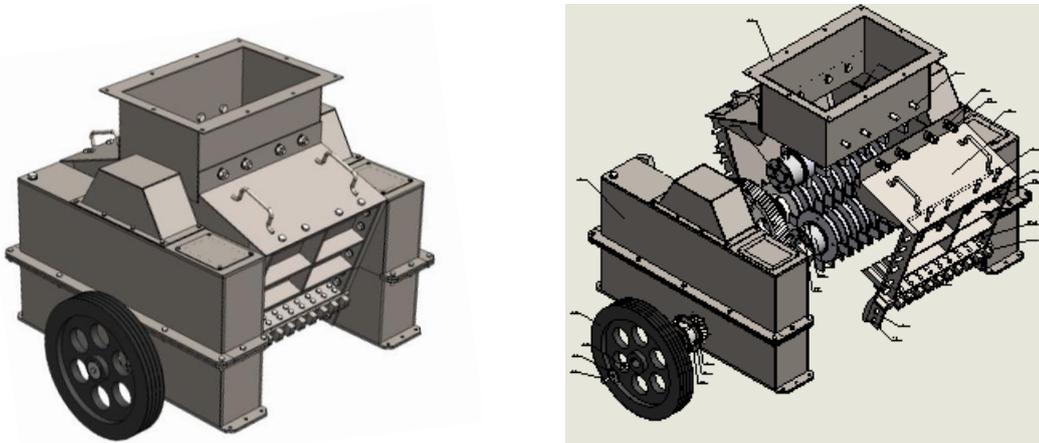


Figura. 3. Modelo tridimensional del Molino triturador **MTPA-LC2** y sus partes. (elaboración propia)

Sistema base: Compuesto por el armazón que soporta el resto de los elementos del molino. El mismo consiste en dos cajas laterales cerradas y selladas que contienen las transmisiones por engranajes, y dos paneles frontales que encierran el espacio interior del molino (ver figura 4).

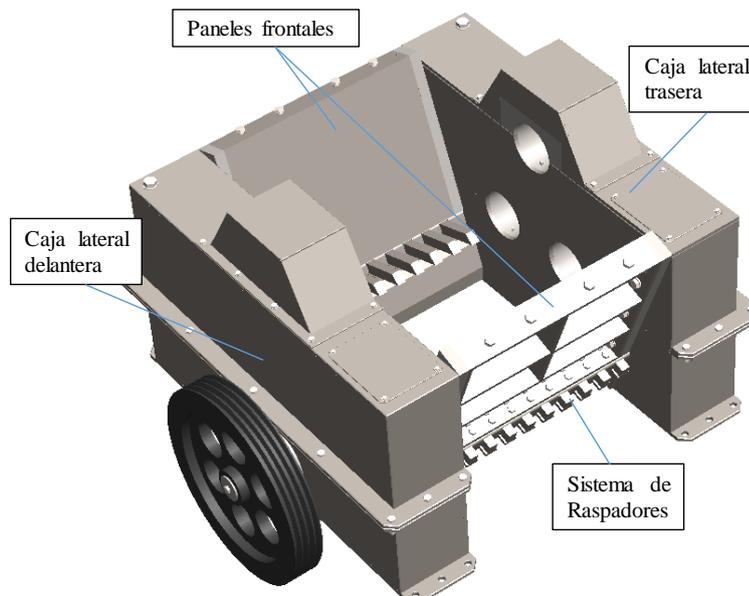


Figura. 4. Estructura del molino triturador de arcilla. (elaboración propia)

Sistema motriz y de transmisión mecánica: Consta de un motor eléctrico de 30kW y 1470rpm. Además, una transmisión por correas trapezoidales de perfil B90 (2286mm de

longitud), con una relación de transmisión igual a 4. También contiene varias transmisiones por engranajes que garantizan el movimiento de los árboles.

Sistema de trituración: En esencia lo conforman un conjunto de cuchillas, montadas sobre los 3 ejes principales del molino que garantizan la trituración de la arcilla con la granulometría requerida.

El movimiento se transmite del árbol de entrada que tiene acoplada la polea conducida y que recibe el movimiento desde el motor por medio de la transmisión por correas. La distancia entre centros de las poleas es de 548,25mm. Para su funcionamiento, el molino cuenta con 3 ejes principales (ver figura 5)

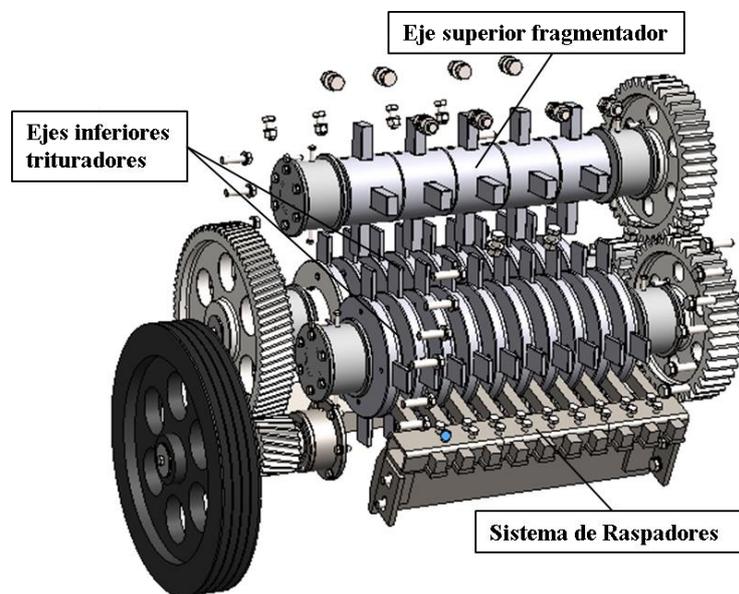


Figura. 5 Sistema de transmisión mecánica que garantiza el movimiento de trituración y desmenuzamiento de la arcilla. (elaboración propia)

Un Eje superior: Fragmenta los bloques más grandes e impide la formación de puentes en la tolva.

Dos Ejes de trituración: Cuentan con cuchillas montadas sobre platos ranurados y girando en sentido opuesto y a diferente velocidad. La separación de las cuchillas y un sistema de raspadores colocados entre los platos, garantizan la granulometría de la arcilla a la salida y mantienen los platos ranurados y libres de material para lograr la máxima efectividad de trituración.

Los datos técnicos del Molino desmenuzador Primario de Arcilla (MTPA-LC2) y los parámetros de operación, cinemáticos y funcionales se muestran en las tablas 1 y 2.



Parámetros dimensionales	Valor
Capacidad de procesamiento	2 – 4 ton/h
Abertura de entrada (ancho x largo)	640x900 mm
Abertura de salida (ancho x largo)	640 x 450 mm
Granulometría a la salida	≤10mm
Velocidad del motor	1470rpm
Peso aproximado del molino	1668kg
Peso del motor eléctrico	240kg
Dimensiones máximas del molino	1060x1170 x1178 mm
Número de ejes	3
Número de platos rompedores por eje	10
Número de cuchillas	4
Eje troceador (Ø x longitud)	270x640mm
Ejes rompedores Ø x longitud)	370x640 mm

Tabla 1 Parámetros de operación del Molino desmenuzador de arcilla MTPA-LC2 (elaboración propia)

Parámetros cinemáticos	Valor
Potencia necesaria	30kW
Velocidad del motor	1470rpm
Peso aproximado del molino	1668kg (1908 kg en total)
Peso del motor eléctrico	240kg
Velocidad de entrada de la máquina	~370rpm
Sentido de giro del árbol de entrada del molino	Antihorario
Relación de la transmisión por correas	4
Cantidad y tipo de correas	4 correas Trapezoidales Tipo B90-(2286mm)
Distancia entre centros de montaje (motor / máquina)	548mm
Velocidad árbol rompedor inferior I	~90rpm
Velocidad árbol rompedor inferior II	~50rpm
Velocidad árbol troceador superior	~50rpm

Tabla 2. Parámetros cinemáticos y funcionales (elaboración propia)

Por último se elaboró toda la documentación técnica para su fabricación en la Empresa Planta Mecánica de Villa Clara. Lo cual abarcó unos 150 planos de partes y piezas, ensamble y subensambles. A modo de ejemplo en la figura 6 se muestra el plano de ensamble general.

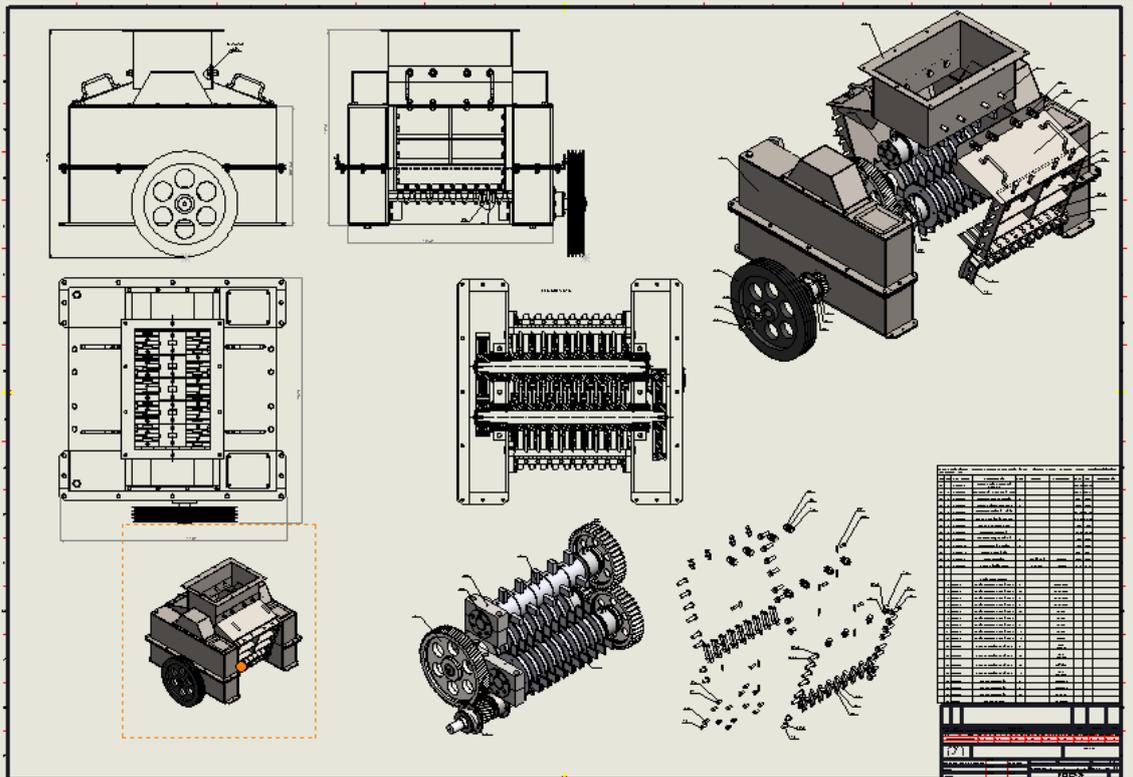


Figura. 6 Plano de ensamble general del Molino desmenuzador de Arcilla. (elaboración propia)

4. Conclusiones

- A partir del estudio bibliográfico sobre los molinos trituradores de materiales de construcción y de las desmenuzadoras de arcilla que se fabrican en el mundo se establecieron los requerimientos técnicos para definir el diseño conceptual de la máquina.
- El molino diseñado se estructuró en un módulo de más de 300 partes y piezas, fundamentalmente de acero (sin incluir la tornillería y otros elementos normalizados) que al ensamblarse no exceden la altura de 1178 mm, un ancho de 1060 mm, una longitud de 1178 mm y una masa de 1908 kg en total.



- Para su modelación y elaboración de la documentación técnica se empleó el software CAD SolidWorks versión 2018, lo cual garantizó rapidez y precisión en el dimensionamiento.
- El proyecto del molino se encuentra en fase de culminación de su fabricación. El mismo forma parte del proyecto conjunto de la UCLV y las Empresas Planta Mecánica y Geominera del Centro, en Villa Clara, como parte del desarrollo previsto de 16 Plantas de cemento de bajo carbono LC2 a construirse en el país; lo que abre nuevas perspectivas en la producción de cemento ecológico.

5. Referencias bibliográficas

HILL, R. & BOWEN, P. 1997. "Sustainable construction: principles and a framework for attainment". *Construction Management Economics*, (15).

Cubadebate, 2019. Producción de cemento LC3 en Cuba: El camino de la autarquía. Obtenido del sitio: <https://www.cubadebate.com/especiales/2019/05/24/produccion-de-cemento-lc3-en-cuba-el-camino-de-la-autarquia/amp/>. Fecha de consulta: abril, de 2021.

PÉREZ, F. 2013. "Cuba, pionera en la producción de cemento ecológico". *Periódico Granma*. 2013/03/26. . <https://www.granma.cu/>

Catálogo IPIACNERY.(s.f). Obtenido de <http://www.ipiac-nerly.com>

Catálogo General Verdes. Obtenido de <https://www.verdes.com>

AGMA 6010 (1997). Standard for spur, helical, herringbone and bevel enclosed drives. ISBN 1-55589-690-1. <https://www.scribd.com/document/234243146/AGMA-6010-pdf>

Hernández, R, Fernández F. (2014) "Cálculo de Uniones roscadas" Editorial, Feijóo, UCLV, 2013 ISBN 978-959-302-201-6

Hernández, R, Fernández F. (2015) "Diseño de árboles y ejes" Editorial, Feijóo, UCLV, 2015 ISBN 978-959-312-145-3, 2015