

Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral empleando conexión directa y remota

ESTRADA-RUIZ, Rosa*†, FLORES-CAMPOS, Rubén, RAMOS-CANO, Diego y VELARDE-SÁNCHEZ, Emma

Recibido 5 de Abril, 2015; Aceptado 24 de Junio, 2015

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de control de movimiento bajo conexión directa y remota de las canaletas de salida de un separador de mineral tipo espiral. Este sistema de separación aprovecha las diferencias de densidades de los minerales para separar el mineral de interés del que se considera como desperdicio. Dependiendo de la concentración de cada fracción es necesario mover las canaletas para realizar una separación efectiva y asegurar la calidad en el producto final. Este cambio de posición es realizado manualmente por lo operadores. Para realizar el control se utilizó el microcontrolador ATMEGA328P-PU de la tarjeta Arduino Uno, dispositivo Bluetooth RN-41 FLY-477, servomotores, PC y una tableta electrónica con sistema Android. Para realizar las pruebas experimentales se diseñó y construyó un separador tipo espiral a nivel laboratorio y se utilizó mineral de carbón.

Sistema de control directo, Sistema de control remoto, Separadores tipo Espirales, Arduino, carbón mineral

Abstract

This work present the development of motion control system under direct connection and remote output splitters mineral spiral separator. This separation system, take advantage of the minerals density diference to separate the valuable mineral of that considered as waste. Depending on the concentration of each fraction is necessary to move the splitters for effective separation, and ensure the quality of the final product. This change of position is performance manually by operators. Arduino microcontroller ATMEGA328P-PU card, Bluetooth device RN-41 FLY477, servomotors, PC and a Tablet with Android system were used for motion control. To permorm, experimental tests it was designed and and builtd a laboratory spiral system separator and used coal mineral.

Title

Direct control system, Remote contro system, Spiral separators, Arduino, Coal mineral.

Citación: ESTRADA-RUIZ, Rosa, FLORES-CAMPOS, Rubén, RAMOS-CANO, Diego y VELARDE-SÁNCHEZ, Emma. Control de movimiento de los divisores de salida de un separador tipo espiral empleando conexión directa y remota. Revista de Aplicaciones de la Ingeniería 2015, 2-3: 215-223

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rhestrada@itsaltillo.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la industria del procesamiento de mineral y la de carbón se utiliza una variedad de operaciones de separación para el beneficio de minerales, estos incluyen los ciclones para medios densos, separadores por gravedad específica, clasificadores Reflux que actualmente se emplean extensamente en las plantas de preparación de carbón (Osborne, 2013), celdas de flotación y espirales. Estos últimos también han sido empleador para la separación de mineral de óxidos de hierro y minerales pesados (Bazin y col., 2014) Lo ideal sería que el rendimiento de estas unidades se mida con regularidad para asegurarse que están operando de forma eficiente y así predecir la pureza y recuperación del producto final cuando varía el mineral en la alimentación (Iveson y col., 2015).

Los separadores tipo espiral, introducidos por Humphreys en 1940 (Thompson y Welker, 1990), han resultado ser muy eficientes, de uso simple y que no requieren reactivos químicos, lo cual resulta beneficioso desde el punto de vista económico. Estos aparatos se usan comúnmente en el procesamiento de minerales y en las plantas lavadoras de carbón bajo diferentes circuitos de configuración. Estos sistemas son amigables con el medio ambiente, robustos, compactos y económicos. La mayoría de las publicaciones acerca de los espirales se concentran en su diseño y operación. Doheim y col., 2013, reportan que es claro que la mayoría de los diseños de los espirales evolucionaron a través de análisis empíricos. Muchos modelos empíricos, los cuales se basaron en datos experimentales fueron establecidos. La desventaja de estos modelos es que si se cambia el tipo de espiral, los minerales o el rango de tamaños de las partículas se deben generar nuevos datos experimentales para modificar los coeficientes o incluso cambiar el modelo matemático en sí.

Actualmente se han desarrollado investigaciones en cuestión de modelación matemática de las características de separación de los espirales tomando en consideración la geometría del aparato y sus canales, movimiento del fluido y las fuerzas que actúan e influyen en el movimiento de las partículas (Das y col., 2007)

Mishra y Tripathy, 2010, desarrollaron una herramienta de simulación basada en el método de elemento discreto (DEM) para entender el proceso de separación en el espiral y utilizarlo para el propósito del diseño. Ellos reportaron resultados preliminares de la simulación así como la posición de los divisores (canaletas) para obtener la mejor eficiencia en la separación.

El movimiento de los divisores en las salidas de los espirales es llevado a cabo por los operadores en forma manual. Una vez que se ha realizado el análisis químico y mineralógico del material de entrada al proceso se notifica al operador si hay cambio de mineral y si hay que realizar un cambio que se realiza de forma manual. Es común que esto se lleve a cabo según sea el yacimiento de donde proviene el mineral o bien según la experiencia que tenga el operador. Sin embargo, estos cambios en las canaletas no se realizan de forma inmediata y por consecuencia se tenga durante cierto tiempo una deficiente separación y por tanto una baja calidad en el producto de salida. En este trabajo se propone el control de movimiento de los divisores mediante un circuito electrónico que proporcione la señal a unos servomotores para realizar el cambio según lo quiera el operador. Se propone un control mediante conexión directa y otro de forma remota mediante el uso de tabletas electrónicas o teléfonos móviles con sistema Android.

Antecedentes

Separadores tipo espiral

Un separador tipo espiral consiste de un canal abierto que se envuelve alrededor de la columna central de soporte. El número de vueltas (n) varía de 3 a 10. Los diseños más modernos (Davis y col., 1991, Holland-Batt, 1992) tienen de 5 a 7. La anchura usualmente varía de 0.25 a 0.35 m. Los parámetros de diseño del separador tipo espiral puede ser listado como: paso de la hélice (u), el perfil de la forma, longitud (L) y el radio interior y exterior (ri,ro) que gobiernan la curvatura (\square) del canal. Los parámetros se muestran en la Figura 1.

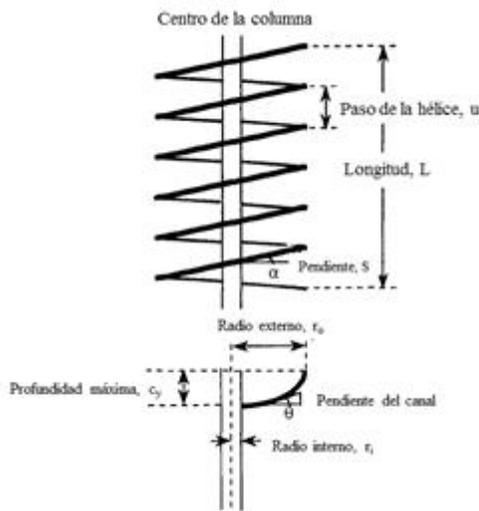


Figura 1 Dibujo esquemático de un separador tipo espiral (Kapur y Meloy, 1998).

La modelación de la separación de las partículas a través de un espiral es un proceso complejo que requiere el conocimiento del comportamiento de las partículas bajo diferentes regímenes. En general, el movimiento de las partículas depende de sus propiedades (tamaño, densidad y forma), las condiciones de operación (densidad de la pulpa y velocidad de flujo) y el diseño del espiral (inclinación, forma del canal, inclinación y número de vueltas).

La separación es llevada a cabo por la acción combinada de la estratificación, dimensión de la capa, fuerzas gravitacionales y centrífugas, que ocurren cuando la pulpa mineral, generalmente más fina que 3mm de tamaño de partícula, fluye a través del canal helicoidal. Cuando la pulpa desciende, cada elemento está sujeto a fuerzas centrífugas que causa que el agua y las partículas ligeras suspendidas se muevan hacia el área externa del aparato hasta que la fuerza centrífuga y gravitacional que se tiene en el descenso se encuentre en equilibrio. La velocidad de las partículas disminuye con la profundidad de la pulpa. La capa del fondo que es retardada por la fricción con la superficie tiene una fuerza centrífuga menor y por tanto sigue el perfil del canal hacia el centro, por tanto el mineral más pesado se transporta hacia la parte interior del espiral formando una capa inferior por estratificación y tamaño de película del mineral. La masa superior del flujo de agua haciendo simultáneamente transportando las partículas más ligeras. El mecanismo de separación puede ser representado conceptualmente dividiendo el canal en diferentes zonas que son gobernadas por diferentes aspectos del flujo del fluido, Figura 2.



Figura 2 Separación por zonas del espiral (Doheim y col., 2013) e imagen de los divisores de salida.

El grado (pureza) del concentrado es regulado por la zona interior por el componente de elevación de la circulación secundaria, que actúa más severamente sobre las partículas finas de menor densidad.

La recuperación potencia es controlada en la zona central por los índices de sedimentación y las condiciones de depositación que prevalecen, las cuales dependen de la componente de la velocidad primaria. Una cama de partículas puede se puede formar en el canal debido a la acumulación de partículas sedimentadas aunque en condiciones normales la profundidad de ésta no es excesiva. Conforme esta cama de partículas se incrementa en espesor nuevas fuerzas son generadas y esto puede modificar el comportamiento del flujo. Cuando hay modificaciones en este comportamiento es necesario llevar a cabo el movimiento de los divisores para realizar una separación efectiva de las partículas de interés.

Aparato y metodología experimental

Aparato experimental

Las pruebas experimentales fueron llevadas a cabo en un sistema de separación tipo espiral, Figura 3, el cual consiste de un sistema mezclador, bomba peristáltica, un sistema de separación en espiral y sistema de control de movimiento de las canaletas. El separador tipo espiral fue diseñado bajo las siguientes especificaciones: altura total tomando en cuenta las canaletas 1.2 m, diámetro externo del espiral 40 cm, distancia entre hélices 24 cm, oblicuidad transversal 9° y altura de pared de las hélices 10 cm. Los ductos de salida fueron diseñados con dimensiones 17 x 10 x 10 cm con una separación de 3 cm entre ellos.

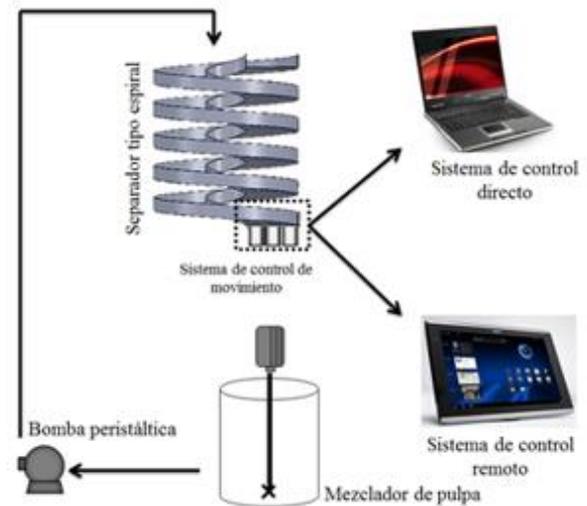


Figura 3 Sistema experimental.

Se utilizó mineral carbón para realizar las pruebas. En la salida del aparato se instaló un sistema de control de movimiento de las canaletas que fue realizado mediante dos métodos: bajo conexión directa y mediante un sistema remoto.

Conexión directa de control mediante USB

Para realizar el sistema de control de movimiento de las canaletas mediante conexión USB se realizó mediante de la tarjeta con el procesador ATMEGA328P-PU de Arduino Uno, este fue conectado al puerto USB de una Laptop para transmisión de datos y alimentación. Las salidas de control PWM se conectaron a las terminales de control de los servomotores, la salida para la alimentación de estos se conectaron a la fuente de 5V y las terminales de tierra a las correspondientes de la tarjeta, tal como se muestra en la Figura 4.

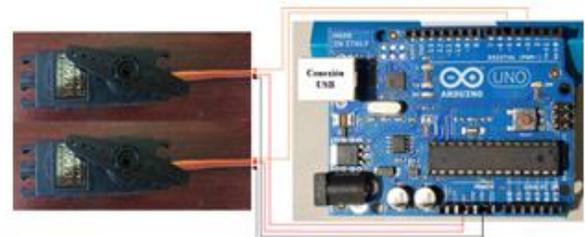


Figura 4 Representación del sistema de control de canaletas con conexión directa a Laptop.

Conexión remota de control mediante Bluetooth

Para realizar la conexión se requirió un adaptador inalámbrico Bluetooth RN-41 FLY-477 cuya conexión a las terminales tx y rx de la tarjeta Arduino para enviar y recibir los datos, como se muestra en la Figura 5. Para realizar la comunicación es necesario utilizar la aplicación AMARINO, que es una aplicación para Android, y una librería Arduino.

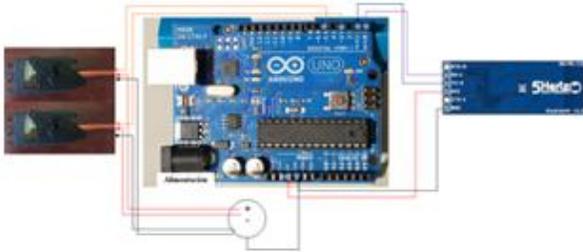


Figura 5 Sistema de control de canaletas con conexión remota empleando Bluetooth.

Resultados

Para realizar el movimiento de los divisores se consideró la información provista en planta la cual indicaba dos opciones de toma de decisión para realizar el cambio de posición. La primera de ellas considera las densidades del mineral según el yacimiento de procedencia, Figura 6(a), el cual se calcula en el laboratorio de análisis químico. Para ello es necesario calcular el contenido de ceniza del mineral ya que dependiendo de su concentración variará la densidad del mineral, ésta se define como la parte no combustible del carbón mineral (b) y que es decisivo en la calidad del producto final (c). A partir de esta variación se modifican las posiciones de los divisores (d) para realizar la separación del mineral (e).

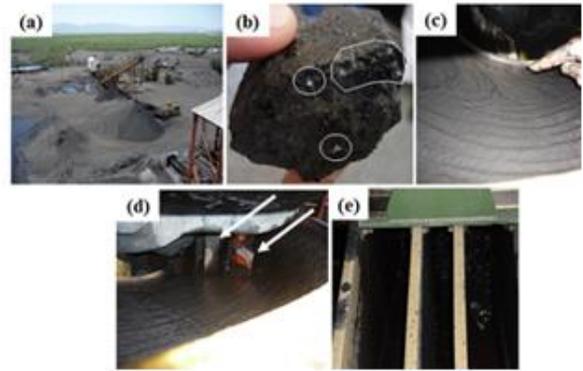


Figura 6 Consideraciones para la separación del mineral

Se realizaron pruebas de separación de mineral en el espiral de laboratorio (Figura 8) en donde el movimiento de los divisores se programó en conexión directa (alámbrica) diseñando una interfaz gráfica en Matlab, se programó la alta de los servomotores, la comunicación con la tarjeta Arduino mediante el puerto indicado.

Las pantallas de selección de tipo de procedencia donde se pre establece el número de grados a mover según sea el contenido de ceniza que reporte análisis químico. Por otra parte también se programó otra opción de movimiento en donde se establece únicamente el grado de inclinación que el usuario desee mover las canaletas, de tal modo que se eviten valores pre establecidos.

En el diagrama de flujo de la Figura 7 se muestra la secuencia de programación de la tarjeta Arduino para el movimiento de los servomotores estableciendo la comunicación con Matlab.

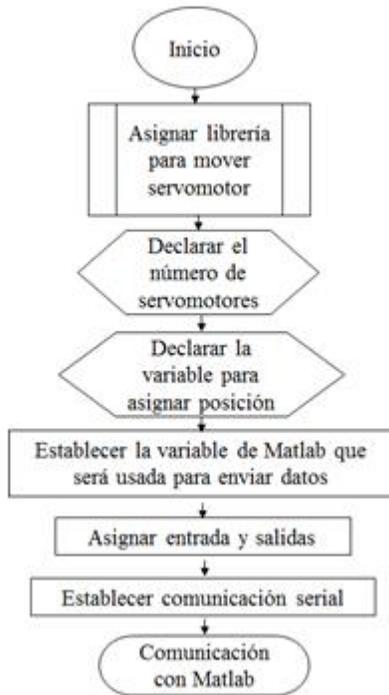


Figura 7 Secuencia de la programación del microcontrolador ATMEGA328P-PU de la tarjeta Arduino para el movimiento de los servomotores bajo instrucciones de Matlab.

El movimiento de los divisores mediante la opción remota fue realizada estableciendo la conexión de la tarjeta Arduino con el módulo de comunicación Bluetooth, posteriormente se sincroniza con la Tableta electrónica con sistema Android mediante el programa AMARINO y se establece la Tablet en modo de monitor para poder enviar datos al micro procesador a través del módulo y así habilitar las salidas e indicar los grados que se desea mover los divisores.

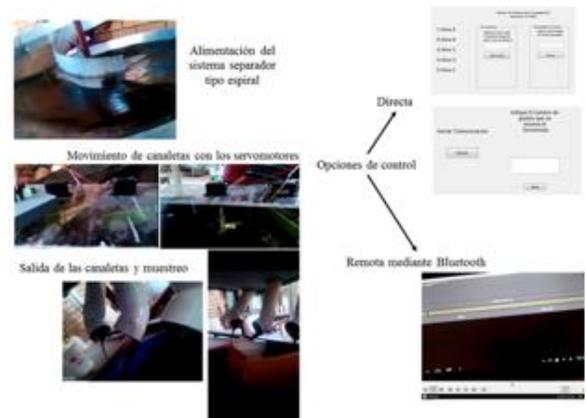


Figura 8 Esquema de experimentación, muestro y control.

El método para establecer la comunicación con la Tablet y el Arduino fue el presentado por Kaufman y Buechley (2010), que permite comunicar los sistemas Android con los microcontroladores de Arduino. Este consiste de dos componentes: una aplicación Android llamada AMARINO y una librería de Arduino llamada MeetAndroid. La estructura de comunicación entre los dispositivos se muestra en la Figura 9, en donde se muestra la interacción que se forma entre el dispositivo móvil usando la aplicación Android a través de la librería AMARINO y la de la tarjeta, en ésta última se tienen salidas disponibles para sensores, dispositivos tangibles y otras más que se encuentran disponibles.

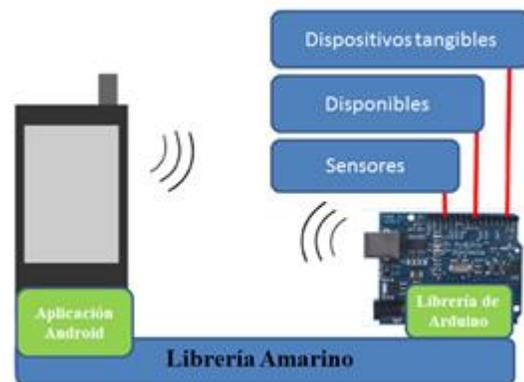


Figura 9 Esquema de interacción entre el dispositivo móvil y la tarjeta (Arduino Kaufman y Buechley, 2010).

La aplicación AMARINO envía datos desde los dispositivos móviles que tengan el sistema Android empleando una interfaz gráfica que permite al usuario seleccionar eventos incorporados de tabletas o teléfonos para enviarlos a un Arduino específico mediante el manejo de conexiones Bluetooth.

En la programación en Arduino, la librería MeetAndroid se asocia las funciones de la tarjeta con eventos de Android y así extraer datos ligados a esos eventos. Cuando se inicia la aplicación se presenta la opción de administrador de Bluetooth que habilita el manejo de éstos en los dispositivos Arduino dando de alta la tarjeta para establecer comunicación con el dispositivo móvil. Cuando se acciona la opción de monitoreo se despliega el flujo de datos que será enviado y recibido por AMARINO. Esta ventana también permite enviar arbitrariamente caracteres para activar al Arduino. Es posible personalizar el comportamiento de la librería para cambiar la velocidad con la que los datos pueden ser enviados y escoger si las conexiones entre la Tableta (en este caso) y el Bluetooth del Arduino sean permanente (para aplicaciones con un alto flujo de datos) o intermitente (para enviar datos ocasionalmente). El administrador de eventos es el componente central de la interface Amarino. Este permite crear colecciones de eventos que se desea que sean enviados a un Arduino en particular que contiene el módulo Bluetooth.

En la tarjeta Arduino es necesario realizar una programación para habilitar la comunicación y realizar las acciones. Se debe incluir la librería para controlar el servomotor, declarar las variables, habilitar las salidas, establecer una posición inicial, establecer la frecuencia de transferencia de datos, declarar las variables para recibir los valores para mover los servomotores en posiciones pre establecido en las direcciones asignadas.

Posteriormente se habilita la aplicación AMARINO en la Tableta con la opción de monitoreo, de modo que se enlaza por Bluetooth con Arduino y poder enviar las opciones de movimiento de los divisores.

Una vez construidos los sistemas de control se instalaron en el espiral de laboratorio, se realizaron diferentes pruebas en las que se modificaron las posiciones de los divisores. En La Figura 10 se muestran los resultados de la separación del mineral cuando se modifica la posición de las canaletas en 90° en donde se aprecian las micrografías del mineral en la parte interna, media y externa del espiral, mostrando la diferencia en tamaños de partícula así como la textura del mineral. En este caso las partículas más gruesas se recuperan en la parte interna y las más finas en la parte externa. Cuando se modifica la posición a 135° se puede observar que no hay una separación eficiente de partículas debido a que las canaletas dirigen el mineral grueso a las secciones por lo que en la imagen se aprecia una mezcla de tamaños. Al mover las canaletas a 180° se obstruyen parcialmente las salidas ocasionando un mezclado homogéneo antes de que el material pase a los contenedores y por tanto las imágenes muestran una textura homogénea en las tres secciones.

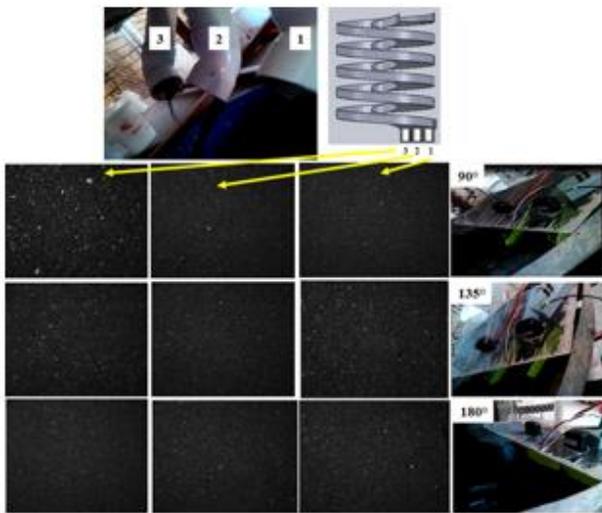


Figura 10 Micrografías del mineral separado mediante la modificación de posición de las canaletas a 90, 135 y 180°.

Conclusiones

Es posible controlar los divisores de salida de los separadores tipo espiral haciendo uso del microcontrolador ATMEGA328P-PU de la tarjeta Arduino Uno mediante la conexión directa a una computadora haciendo uso de una interfaz gráfica para enviar y recibir datos para controlar los servomotores. Además fue posible realizar este control de forma remota empleando el mismo microcontrolador, un dispositivo Bluetooth RN-41 FLY-477 y una Tableta electrónica con sistema Android.

Para realizar el control de forma remota fue necesario emplear las librerías AMARINO (Kaufman y Buechley, 2010) en la Tableta y Meetarduino en la programación del microprocesador. Si bien este control tiene un alcance de 15 metros es posible instalar repetidores para ampliar el rango.

Se realizó el control de movimiento tomando en consideración las características de planta que son el tener en cuenta el yacimiento de procedencia del mineral, contenido de ceniza y también la interacción directa con el usuario.

Como trabajo futuro se pretende realizar el control mediante red wifi y mediante mensajería 3G.

Referencias

Bazin C., Sadeghi M., Bourassa M., Roy P., Lavoie F., Cataford D, Rochefort C., Gosselin C. (2014). Size recovery curves of minerals in industrial spirals for processing iron oxide ores. *Miner. Eng.* Vol. 65, pp. 115-123.

Davies P.O.J., Goodman R.H., Deschamps J.A. (1991). Recent development in spiral design, construction and application. *J. Minerals Eng.* Vol. 4 (3-4), pp. 437-456.

Das S.K., Godiwalla K.M., Lopamudra Panda, Bhattacharya K.K., Ratnakar Singh, Mehrotra S.P. (2007). Mathematical modeling of separation characteristics of a coal-washing spiral. *Miner. Process.* Vol. 84, pp. 118-132.

Doheim M.A., Abdel Gawad A.F., Mahran G.M.A., Abu-Ali M.H., Rizk A.M. (2013). Numerical simulation of particulate-flow in spiral separators: Part I. Low solids concentration (0.3% & 3% solids). *Applied Mathematical Modelling.* Vol. 37, pp. 198-215.

Holland-Batt A.B. (1992). A study of the potential for improved separation of fine particles by use of rotating spirals. *J. Minerals Eng.* Vol. 5 (10-12), pp. 1099-1112.

Iveson S.M., Hunter D.M., Galvin K.P. (2015). A water-based method for measuring density-based partition curves of separators used in coal and mineral processing. *Miner. Eng.* Vol. 79, pp. 196-211.

Kapur P.C., Meloy T.P. (1998). Spiral observed. *Int. J. Miner. Process.* Vol. 53, pp. 15-28.

Kaufmann, B., Buechley, L. 2010. Amarino: A Toolkit for the Rapid Prototyping of Mobile. Ubiquitous Computing. MobileHCI '10 Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services. Pp. 291-298.

Mishra B.K., Tripathy A. (2010). A preliminary study of particle separation in spiral concentrators using DEM. Int. J. Miner. Process. Vol. 94 (3-4), pp. 192–195.

Osborne, D. (Ed.), 2013. The Coal Handbook, Towards Cleaner Production Volume 1: Coal Production. Cambridge, Woodhead. Pp. 263–300.

Thompson, J.V., Welker, M., (1990). The Humphries Companies: Development and Application of Humphreys Spiral Concentrator. Skillings Mining Review, Feb. Vol. 24, pp. 4–15.