



Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

Delegatura de propiedad Industrial

División de Nuevas Creaciones

PCT
SOLICITUD

PATENTE DE INVENCION

21. EXPEDIENTE No.

06-67528

54. TÍTULO

Exometodología y sistemas de un proceso de Prequemado en seco para mejorar las propiedades de un combustible sólido

51. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL

C01L 9/06, 9/08 C10B 57/10

71. SOLICITANTE

Coaltex Corporation

DOMICILIO

Tucker, GA, USA

74. APODERADO

Julia Maria Rodriguez D'Almeida

22. BOGOTÁ, D. C.,

folio 12/06

FORMULARIO ÚNICO DE SOLICITUD DE PATENTE
PCT
ENTRADA EN FASE NACIONAL

1) SOLICITUD DE:			
☒ Patente de invención		☐ Patente de Modelo de Utilidad	
☐ Capítulo I.		☒ Capítulo II.	
2) LICITANTE (71)	Nombre: COALTEK CORPORATION		IDENTIFICACIÓN C.C. ☐ NIT: ☒ C.E. ☐ OTRO ☐ Cual _____ NÚMERO _____
	Dirección: 2189 Flintstone Drive Suite D, Tucker, GA 30084 USA Nacionalidad o domicilio: Tucker, GA, Estados Unidos Lugar de constitución: Georgia, Estados Unidos		
	Teléfono:	Fax:	
	E. Mail:		
3) REPRESENTANTE O APODERADO	Nombre: DILIA MARÍA RODRÍGUEZ D'ALEMAN		IDENTIFICACIÓN C.C. ☒ NIT: ☐ C.E. ☐ OTRO ☐ NÚMERO: 41.654.882 TP: 20824 CSJ
	Dirección: Carrera 11 N°. 86-53 Piso 6 Bogotá D.C. Teléfono: 6181088 Fax: 6350824 E. Mail: info@clarkemodet.com.co		
4) INVENTOR (ES) (72)	Nombre: 1. ATEN, JED, A.; 2. GINTHER, Neil, E.; 3. WEINBERG, Jerry, L.; 4. WANG, Ru, T. Dirección: 1. 80 Spring Valley Way, Covington, GA 30016 USA; 2. 406 North Emerson Street, Jenks, OK 74037 USA; 3. 9409 SW First Place, Gainesville, FL 32607 USA; 4. 501 NW 15th Avenue, #15, Gainesville F. 32601 Nacionalidad o Domicilio: Todos los anteriores, Estadounidenses		
5) PCT (86) Solicitud Internacional No. PCT/US2004/041786 Fecha: DIC. 10, 2004 Publicación Internacional No. WO 2005/059064 A1 Fecha: Junio 30, 2005			
6) Título (54) EHMETODOLOGÍA Y SISTEMAS DE UN PROCESO DE PREQUEMAD EN SECO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DE UN COMBUSTIBLE SÓLID			
7) Clasificación Internacional: C01L 9/00, 9/08, C10B 57/10			
8) PRIORIDAD		33) País de Origen	(32) Fecha
SI ☒ NO ☐		ESTADOS UNIDOS	DIC. 12, 2003
			(31) Número de Solicitud 60/529,204
9) Comprobante de pago N°. 06-47,298 Fecha: JUNIO 21, 2006			
Instrucciones para el diligenciamiento del presente formulario. Ver reverso de esta pagina			

2790 2

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 06 - 47,298
FECHA : JUNIO 21 DE 2006

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Rad: 06-067528-00000-0000
Fes: 2006-07-12 10:31:31 Dep. 2020 MUECREACION
TR. II PATENTE VII
EN: 379 FASE NACIONAL II
Asi 411 PRESENTACION Folios: 227

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
CLARKE NOBET Y CO. COLOMB	CONSIGNACION	BANCO POPULAR	050-00110-6	49045931	20/06/2006	10,327,000.00

***** C O N C E P T O *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
1		TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN	463,000.00
		TOTAL :	\$ 463,000.00

SPM CUATROCIENTOS SESENTA Y TRES MIL PESOS

RESPONSABLE : 

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

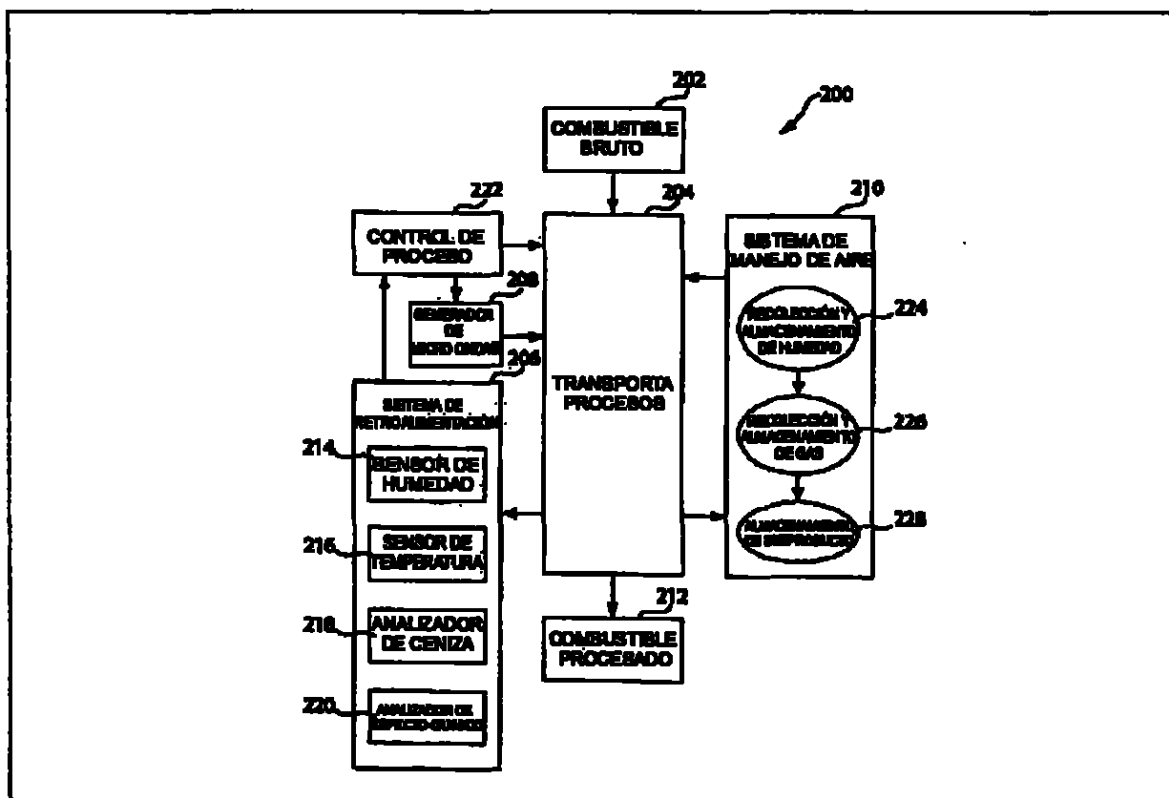
10)

ANEXOS

3

- ☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud
☐ Comprobante de pago por reivindicación de prioridad
☐ Documento que acredite la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona Jurídica
☐ Poderes, si fuera el caso
☐ Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante
☐ Declaraciones
☒ Copia de la solicitud Internacional. (Resumen, descripción, reivindicación, Dibujos).
☒ Traducción de la solicitud internacional al castellano. (Resumen, descripción, reivindicación, Dibujos)
☒ Copia del examen preliminar efectuado por la IPEA
☐ De ser el caso, copia del contrato de acceso
☐ De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas
☐ De ser el caso, certificado de depósito del material biológico
☐ Arte final 12 x 12 y 6 x 6 cm
☐ De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos obtenidos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionados parcial o totalmente con la invención de esta solicitud.
☒ Otros:
 1. Reporte internacional de búsqueda
 2. notificación Del cambio

11) FIGURA CARACTERÍSTICA:



12) Solicitud concesión de la patente,

NOMBRE: DILIA RODRÍGUEZ D'ALEMAN

FIRMA:

C.C. 41.654.882 de Bogotá TP 20824 CSJ

Instrucciones para el diligenciamiento del presente formulario. Ver reverso de esta página

(19) World Intellectual Property
Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
30 June 2005 (30.06.2005)

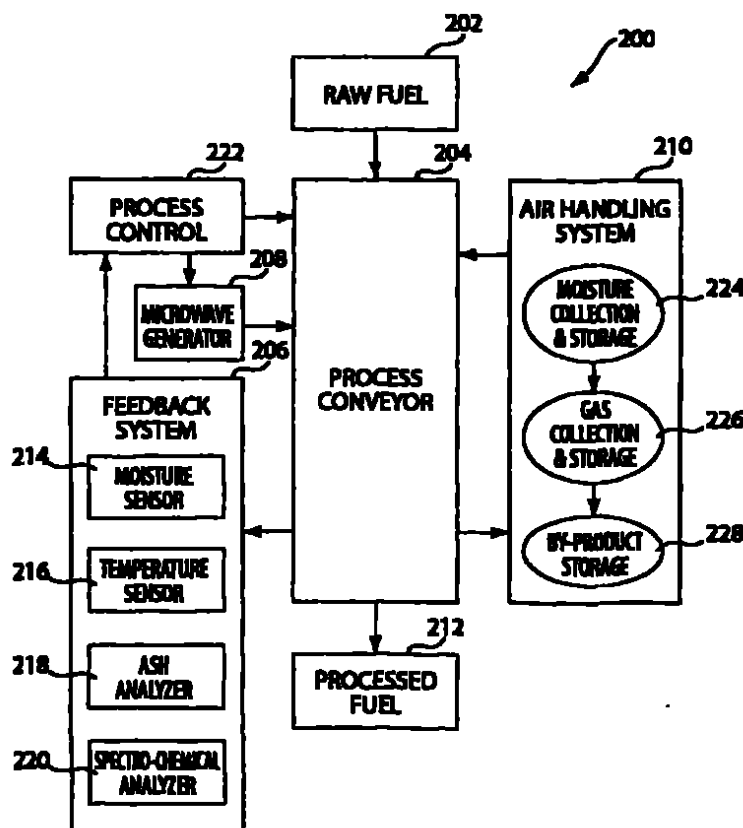
PCT

(10) International Publication Number
WO 2005/059064 A1

- (51) International Patent Classification⁷: C10L 9/00, 9/08, C10B 57/10
- (21) International Application Number: PCT/US2004/041786
- (22) International Filing Date: 10 December 2004 (10.12.2004)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data: 60/529,204 12 December 2003 (12.12.2003) US
- (71) Applicant (for all designated States except US): COAL-TEK CORPORATION [US/US]; 2189 Flintstone Drive-Suite D, Tucker, GA 30084 (US).
- (72) Inventors; and
- (75) Inventors/Applicants (for US only): ATEN, Jed, A. [US/US]; 80 Spring Valley Way, Covington, GA 30016 (US). GINTHER, Nell, E. [US/US]; 406 North Emerson Street, Jenks, OK 74037 (US). WEINBERG, Jerry, L. [US/US]; 9409 SW First Place, Gainesville, FL 32607 (US). WANG, Ru, T. [US/US]; 501 NW 15th Avenue, #15, Gainesville, FL 32601 (US).
- (74) Agents: MIRABITO, A., Jason et al.; Miratz, Levin, Cohn, Ferris, Glovsky and Popeo, P.C., One Financial Center, Boston, MA 02111 (US).
- (63) Related by continuation (CON) or continuation-in-part (CIP) to earlier application: US 60/529,204 (CIP) Filed on 12 December 2003 (12.12.2003)
- (81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

[Continued on next page]

(54) Title: A PRE-BURNING, DRY PROCESS METHODOLOGY AND SYSTEMS FOR ENHANCING SOLID FUEL PROPERTIES



(57) Abstract: Measurements are taken of moisture, BTU/lb (British Thermal Units per pound), ash, forms of sulfur, volatile material, grindability, and absorption properties of any of a wide variety of mine-run solid fuels. Using that information, a dry electromagnetic process technology has been developed that can be controlled and monitored to selectively alter and enhance solid fuel properties for the application in question. Specific changes include altering the mechanical structure and chemical composition of solid fuels such as coal, coal coke or petroleum coke, increasing the BTU/lb to optimum levels, decreasing all forms of sulfur, and decreasing ash, while maintaining the BTU/lb of the fuels. A new family of solid fuel designer coals not found in nature can be produced via these methods and apparatus.

WO 2005/059064 A1



GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US (patent), UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:

- with international search report
- before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

A PRE-BURNING, DRY PROCESS METHODOLOGY AND SYSTEMS FOR ENHANCING SOLID FUEL PROPERTIES

BACKGROUND

More than one-half of the electricity consumed in the U.S. is currently generated by inefficient coal-burning utility plants. In spite of the increased use of oil and gas resources, the low cost, ready and widespread availability, large reserves of coal, and large coal industry workforce ensure that coal will remain a significant resource for industrial purposes, and, especially, for worldwide energy generation for the foreseeable future. However, coals are extremely diverse and heterogeneous and generally contain significant amounts of moisture, ash, sulfur, and mineral impurities, all of which detract from its current potential to be an efficient and clean-burning fuel.

The literature of science and technology, process engineering, and patents is replete with failed attempts to improve the overall combustion properties of solid fuels. Physical and chemical methods and even biological organisms are used in coal cleaning and waste removal. Coal washing is widely used to remove the higher specific gravity ash and pyritic sulfur, but typically results in the loss of up to 20% of the coal in the process. Various but costly methods of coal drying are used in an effort to increase the BTU/lb (British Thermal Units per pound) of the coal, and many methods have been investigated in an effort to significantly reduce sulfur.

The burning or combustion of coal, even higher ranks such as anthracite and bituminous, generates significant emissions and is of increasing concern due to environmental and global warming considerations. The burning of high-sulfur coals has inflicted a heavy toll on the atmosphere in eastern Europe, China, and elsewhere, and is in large measure responsible for the widespread but unsuccessful efforts over the past 25 years to find an efficient and affordable means of desulfurization. Much of this effort has involved electromagnetics; viz, the use of ultraviolet, optical, infrared, radio, microwave, x-ray, and even gamma ray frequencies and combinations thereof. Most have met with failure. In fact, there is to our knowledge no single, effective and economically viable pre-burning process technology in commercial practice, electromagnetic or other, for removing sulfur or any of the other major constituents of coal.

The presence of moisture, ash, sulfur and other constituents in varied amounts in all coals results in a variety of problems when coal is burned or otherwise heated for any purpose. Noxious gases, such as nitrous oxides (NO_x) and sulfur oxides (SO_x), resulting from

coal burning have adverse effects on the environment, including acid rain, smog, unhealthy air laden with sulfur (resulting in the common yellow sky color in large regions of China), and the deposition of toxic particulates, some carried far from their origins by upper air currents. Further, coal burning leaves behind inorganic ash with its trace elements such as mercury, the consequences of which are seldom considered when ash is handled or used as a filler in widespread and long term applications such as road building and repair. There is now added concern due to the large amounts of carbon dioxide (CO₂) generated during coal burning, which contributes significantly and directly to global warming. Finally, the presence of significant moisture in many coals results in inefficient burning, leading to the burning of more coal and the consequences of increased emissions thereby. Relatively little emphasis has been placed on de-moisturization (i.e., contributing to the increase in BTU/lb, which directly results in being able to burn smaller amounts of coal to generate the same amount of energy and thereby, in itself, reducing all emissions therefrom).

Numerous attempts have been made over the years to remove or otherwise reduce the amounts of ash and sulfur in coal and thereby reduce the various forms of contamination by improving the quality and combustion characteristics of coals. Unfortunately, such attempts have proved to be time consuming, costly, and impractical.

For example, attempts have been made to "wash" the coal prior to combustion. These attempts can be expensive and require extensive plant equipment additions and modifications. In washing systems, the coal must be crushed or sized using screens, pulverizers, ball mills, crushers, or other similar types of grinding equipment prior to being fed to the washer. Typically, reducing the size of the coal using such types of equipment involves relatively heavy and large equipment that is expensive to purchase, maintain, and operate.

In other examples, cleaning systems and methods involve extensively drying the coal using centrifuges, rotary drum filters, fluidized bed dryers or other similar types of drying equipment prior to burning or combusting the coal or fuel. Typically, drying the coal using such types of equipment involves complex or multiple stages of equipment that are also expensive to purchase, to maintain, and to operate.

Other attempts utilize the addition of one or more catalysts to the coal, in an effort to reduce the amount of unwanted by-products created in the combustion of the coal. For example, certain types of catalysts added to coal can reduce the amount of sulfur emitted during the combustion of the coal. These attempts are also aimed at improving the combustion characteristics, such as increasing the BTU/lb, of the coal to be burned.

However, these attempts can create a different set of by-products that can be hazardous and expensive to dispose of or to store.

In the absence of pre-burning solutions to this long-standing problem, post-burning scrubbing is currently the preferred methodology of the coal-fired electric utility industry.

5 For example, scrubbers have been installed to clean post-combustion flue gases, removing SO_x and NO_x compounds from the flue gases. This type of equipment and other similar systems and processes are expensive to install, maintain and operate. Unfortunately, this does not solve the CO_2 problem, and recent efforts to capture and re-route CO_2 gases do not appear promising or practical.

10 Finally, many coal-burning utilities blend low-sulfur coal with high-sulfur coal to reduce overall sulfur so as to meet the government-regulated index of pounds of SO_2 per million BTUs. This generally requires long distance transportation of heavy, moisture-laden coals with transportation costs often equaling or exceeding the cost of the coal.

SUMMARY

15 Described herein are methodologies, systems, and processes that employ electromagnetic energy (e.g., microwave energy) to alter the mechanical structure of coal and to separately and/or collectively alter the core coal constituents by design to enhance the combustion quality of coal fuel (e.g., decrease moisture and increase BTU/lb to optimum levels for the application in question, decrease all forms of sulfur, including the more difficult
20 to remove organic sulfur, and decrease ash, while maintaining or improving the heating value of the coals).

Embodiments of the present invention can be designed for the type of coal and the changes in properties being sought. The systems can be modular, scaleable, and portable or fixed and can be used at in-line or off-line locations for underground or surface mining or at
25 utility plants. Process parameters can be selected to fit the requirements of specific applications, while removing and collecting valuable by-products such as water, sulfur, and ash. On-line and off-line methods can be used to determine the properties of the processed coal, with feedback systems used to change process control parameters such as dwell time (flow rate), power, airflow, etc., to obtain the pre-selected fuel enhancement properties
30 desired and not over- or under-process.

The process begins by gathering information on a particular coal including its location (mine mouth, surface mine, river blending facility, or utility plant anywhere before the final grinding, etc.) Another consideration is the purposes for which the processed coal will be

used (for example, more-efficient and cleaner fuel can be used for coal-fired utility boilers, low-sulfur and high-volatility fuel can be used for steel and other processing, special-purpose fuel for chemical processing, *etc.*) and the properties being sought. Next, the tonnage amounts being considered for processing and any existing handling procedures that need to be considered, such as grinding or screening of the coal, are identified. Next, samples of the raws are measured to determine their properties. Finally, a system is designed to provide the specific processed fuel properties being sought. The system design parameters that can be pre-set or varied in real time include: the capacity of the coal-input handling system to accommodate the amounts and sizes to be fed into the processor; the size, form and type of process chamber / conveyor system to handle the sizes and flow rate(s) required in the time allotted or required for processing; the electromagnetic frequency or frequencies and power levels and the durations required to obtain the properties being sought for the coals in question; and the penetration depths required to assure that the coals are processed on average to the extent required.

The electromagnetic, pre-burning, dry and single-stage coal process technology has been shown to: alter the mechanical structure of coals, and, thereby, significantly increase grindability; decrease moisture and increase BTU/lb to optimum levels for the application in question; decrease all forms of sulfur, including the more difficult to remove organic sulfur; decrease ash; and significantly decrease the lbsSO₂/MMBTU emissions index, while maintaining the heating value of the coals. Moreover, unlike many earlier attempts, the coal can be processed via these methods without forming a slurry or otherwise adding a solvent or other liquid before irradiating the coal. The methods described herein can also go well beyond simply removing sulfur or any other single component from the coal, as attempted in previous methods; instead, the methods can be used to achieve targets with respect to each of a variety of coal properties, such as those identified above.

The process methodology, discussed herein, has the ability to vary process parameters so as to target specific combustion properties of solid fuels. For example, it can effectively target a specific reduction in moisture and a resulting relatively narrow range of BTU/lb even for a coal batch (every coal batch) with samples having a distribution of sizes and properties.

Representative results on demoinsturization are attached, representative but not "best", results compiled to show the broad applicability of the process. The results have been arranged in order of increasing % moisture reduction to give further evidence of the fact that with these methods and apparatus, any coal can be processed to a desired level of moisture reduction. Further, with straightforward pre-processing tests we can also assess the amount

of ash and sulfur in the raw coals and how a particular coal will react to the process technology, the result being that the system can, if desired, also improve other combustion properties of coal.

The material listed and described here further demonstrates that these systems, designed and operated in batch or continuous mode, can provide the demineralization or other coal combustion properties sought; specifically, coals with

- % moisture reduced to any desired level in any rank of coal down to about 1% or less;
- BTU/lb increased in any rank of coal to any level up to at least the level it would have for zero % moisture or by at least 1,000 BTU/lb (since the process also reduces % ash and % total sulfur, their contributing to a further increase in BTU/lb);
- % ash reduced in any rank of coal (e.g., by at least about 2%); in particular embodiments, reductions range from approximately 10% to more than 50%; and
- each and every form of sulfur reduced (e.g., reductions of at least about 2% of the total sulfur, at least about 3% of the pyrite, at least about 5% of the sulfate, and at least about 1% of the organic sulfur); in particular embodiments, total sulfur is reduced by 25% to 50% and, for some coals, even more.

Further, with these systems and methods, the risk of arcing (and ignition) can be reduced or removed. While small-sized pieces and sample sizes were previously employed to try to reduce the risk of arcing, the use of on-line measurements, monitoring, and feedback systems along with the accompanying adjustments in power levels, airflow levels and dwell times to control surface temperature serves to reduce arcing in embodiments of the methods described below.

Further still, the inventors' improved understanding of how electromagnetic energy penetrates coal and the greater penetration depths achievable at higher power levels opens the door to effectively processing greater (e.g., commercial level) through-put rates of coal and coal having greater particle sizes.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the accompanying drawings, described below, like reference characters refer to the same or similar parts throughout the different views. The drawings are not necessarily to scale, emphasis instead being placed upon illustrating particular principles of the methods and apparatus characterized in the Detailed Description.

FIG. 1 is a plot showing electromagnetic-radiation absorption in a particular lignite as a function of frequency.

FIG. 2 is a plot of electromagnetic-radiation penetration depth in 25 degree C water as a function of frequency.

5 FIG. 3 is a flow diagram generally describing a process methodology in accordance with embodiments of the invention.

FIG. 4 is a flow diagram of the process system elements in accordance with embodiments of the invention.

FIG. 5 illustrates a conveyor system.

10 FIG. 6 illustrates a feeder assembly for use with the conveyor system of FIG. 5.

FIG. 7 provides a conveyor end view of the apparatus of FIGS. 5 and 6.

FIG. 8 provides a conveyor end view of the apparatus of FIGS. 5 and 6.

FIGS. 9 and 10 show perspectives of a transfer bed hood for the apparatus shown in FIG. 5.

15 FIGS 11 and 12 show perspectives of a transfer bed hood for the apparatus shown in FIG. 5.

FIG. 13 illustrates a batch processing assembly in accordance with embodiments of the invention.

20 FIGS. 14 and 15 illustrate a top and side view of the batch processing assembly shown in FIG. 13.

FIG 16 illustrates a pilot plant.

DETAILED DESCRIPTION

I. The Coal

A. General

25 Coal is a combustible fuel formed from fossilized plants; coal comprises amorphous carbon combined with various organic and some inorganic compounds. As described by Harold H. Schobert in "Coal, the Energy Source of the Past and Future" (American Chemical Society, 1987), the entire teachings of which are incorporated herein by reference, "[c]oal ranges from a soft, moist, brownish material to a very hard, glossy, black solid," and its
30 physical and chemical properties can vary considerably depending on how, when and where the materials were deposited, the types of organic material present initially, and its alteration over time. Therefore, it has been necessary to classify and standardize coal types and

properties in order to mine, trade, and use coal in commercial practice. Coal has been divided into the following major "ranks" from poorest quality to best quality, respectively:

- 1) brown coal;
- 2) lignite;
- 3) subbituminous coal;
- 4) bituminous coal; and
- 5) anthracite.

Brown coal has a very high moisture content, with low BTU/lb values (around 3000 BTU/lb) as mined. Lignite is a class of brownish-black coal having a moisture content ranging from 20% to over 50% and BTU/lb ranging from the high 4000's to approximately 7000. Subbituminous coal is a black coal without the woody texture found in lignites; subbituminous coal has high moisture (typically 30% to 35%) and BTU/lb bridging the gap between lignites and bituminous coals. Bituminous coal is a soft coal having the widest variation in chemical composition; bituminous coal can vary from 5% to 20% moisture and has levels of BTU/lb anywhere from 10000 to more than 14000. In the United States, bituminous coal is found primarily in eastern fields. Anthracite coals are very hard and have relatively low moisture content (typically < 5%) and BTU/lb in the 14000 region, as mined. Each of these ranks has been still further divided into sub-categories (ref. ASTM, 1981, D-2796, and the U.S. Geological Survey). In all cases, coal is found to vary from mine to mine, from seam to seam, and within each seam, often varying significantly.

The maximum ranges of variability for coals of all ranks, generally speaking, are:

BTU/lb	< 4,900	to	> 15,400;
moisture	< 3.0%	to	> 50%;
ash	< 3.0%	to	> 35%; and
total sulfur	< 0.25%	to	> 6.0%.

Within an individual mine: BTU/lb can vary by as much as 2,500; moisture can vary by as much as 13%; ash can vary by as much as 13%; and total sulfur can vary by as much as 3%.

Because coals are highly variable in appearance, composition, and properties (from brown coals to lignites to sub bituminous to bituminous to anthracites and within each rank and within each mine or seam or handful), generalizing as to how to enhance a particular coal's properties as a fuel is difficult and usually unreliable. Here, coals are uniquely evaluated on a case-by-case basis.

B. Coal Database

A database has been assembled of measurements on a wide variety of raw and processed coals including, but not limited to, low-sulfur coals from Australia, the People's Republic of China, and South Korea, a variety of coals from India, and coals from Canada
5 and the United States (including Alabama, Florida, Illinois, Ohio, Oklahoma, Pennsylvania, Texas, and Wyoming).

All mine-run coal batches were first tested to determine their average properties. To best approximate commercial practice, additional but separate mine-run samples were selected from each batch for processing; *i.e.*, samples were selected that had not first been
10 altered in any way. With such a procedure, enough samples were selected to insure that their properties were representative of mine-run coals on average.

A self-consistent, statistical sampling method has been used to study hundreds of raw and processed samples as to their visual appearance, color, hardness, uniformity, sizes, and weights and, for processed samples, their surface and internal temperatures. A portion of this
15 database comprises test results from Standard Laboratories of South Charleston, West Virginia, USA, on some 450 raw and processed samples, wherein the sample measurements included percent moisture, percent ash, percentage of volatiles, fixed-carbon percentage, BTU/lb (as received, dry basis, moisture and ash free; defined below), forms of sulfur (percent each of total sulfur, pyrite, sulfate, organic sulfur, as received and dry basis),
20 Hardgrove grindability index (HGI), total mercury, ash fusion temperatures and ash mineral analysis.

C. Test Procedures and Definitions for Evaluating Coal

The first step was to pulverize the sample and use a small part to determine the percent moisture. Then another part of the same sample was used to determine the percent
25 ash ("as received" means that nothing was done to the sample before it was tested). "Dry basis" is a calculated value that takes the as-received measurement and adjusts it to what it would be if there was no moisture in the sample. BTU/lb is calculated in the same manner; *i.e.*, the value is determined for part of the as-received sample and then calculated on the basis of there being no moisture (dry basis). Then a similar calculation, "M-A free," is
30 performed for what the value would be if there was no moisture (M) and no ash (A). "Forms of sulfur" is similarly determined for the as-received samples and then also calculated on a dry basis.

Random sampling was carried out and comparisons were made between visual characteristics and measured properties in both batch and continuous processing modes, to give further confidence that the results are representative of that which would be obtained from processing commercial scale amounts (tens to hundreds of tons per hour and more).

5 As part of assembling the database, laboratory measurements were made on a variety of raw and processed coals and on their separate constituents such as ash, pyrite and organic sulfur. Measurements included absorption and reflection over a broad range of electromagnetic frequencies. A dielectric-properties monitoring system was used to measure changes in dielectric properties of coals, such as the changes that occur as a result of process effects on chemical composition. The dielectric properties influence how the material will respond to the electromagnetic radiation.

Small quantities of various coals were first tested in a specially designed, free-space microwave configuration, wherein a waveguide was used to take microwave radiation out of a microwave chamber onto an open surface, where small samples can be irradiated at varying low-power levels and times and can be observed, monitored and weighed. Next, larger samples were tested in various microwave oven chambers. These oven systems were of different chamber sizes with the capability to vary the power and time applied. When it was observed that most of the fuel properties for small and intermediate coal sample sizes (up to 5 pounds) were improved, a larger chamber system was designed to vary the range of power able to be applied and to provide the capability to process the samples up to approximately 40 pounds in batch mode (see the apparatus illustrated in FIGS. 13-15). When these tests provided the same enhancements in fuel properties that were sought and obtained with smaller process systems and smaller samples, further scale-up steps were undertaken by designing a continuous, flow-through process system able to process approximately 1000 pounds per hour (see FIGS. 5-12). Process tests with the flow-through process system demonstrated that fuel properties could be altered as in smaller sample size batch-mode process tests; i.e., the subject process methodology can be readily adapted to a wide range of coal types and flow rates required, while obtaining the desired fuel enhancement properties.

II. Process Methodology

30 A. Outline of Overall Process

The sequence of steps in the overall process can be outlined as follows.

1) **Measurement of electromagnetic absorption by coals and by their constituents over a wide range of electromagnetic frequencies**

Having selected electromagnetic radiation as the core active agent for processing solid fuels/coal, it is necessary to understand its effect on coals and on their separate constituents. This information can be obtained from measurements of electromagnetic absorption and reflection and, especially, permittivity of the materials. Permittivity is an intrinsic property of a material and it can be used to predict the response of a material to microwave or any other electromagnetic radiation. The terms "electromagnetic" and "microwave" radiation are used somewhat interchangeably throughout this discussion. In all cases, the available range of electromagnetic radiation includes frequencies recited elsewhere herein, which may by some standards be considered to be in the lower "radio" frequency rather than the higher "microwave" frequency, as those terms are sometimes used.

Measurements of absorption and reflection have been made for several different coals, raw and processed; and measurements can also be made of several constituents of coal, such as ash, pyrite, and organic sulfur. Measurements of the absorption of electromagnetic radiation over the range of frequencies from 0.5 GHz to 18 GHz (500 MHz to 18,000 MHz) are reported in FIG. 1 for two samples each of the same raw (top curves) and processed east Texas lignite. The following features are evident in these measurements and in all of our absorption measurements:

- The overall downward trend in absorption from right to left quantifies the fact that this coal (and all coals) is less efficient in absorbing electromagnetic radiation as one moves to lower frequencies; hence, penetration of the radiation through the coal is greater at lower frequencies.
- The peaks seen near 0.8, 2.45, 5.75, and 11.6 and apparently starting near 18 GHz appear to be related to one another; e.g., the absorption-peak frequency near 11.6 GHz is almost exactly twice the frequency of the preceding absorption peak at 5.75 GHz. These features are present in every tested coal's electromagnetic absorption measurements. We believe that these features reflect responses specific to one or more major constituents of the coal or perhaps to the rotational energy of a large molecule (hydrocarbon or sulfur) or both. Of particular interest are the facts, seen in all of our absorption measurements, (a) that these features are still apparent in the processed coal but significantly reduced compared to the background and (b) that the

levels of absorption versus frequency for the background (bound water) and for the peaks are significantly less for the processed coals.

The range of frequencies chosen for these measurements covers most microwave frequencies, with the lower frequencies possibly merging into the realm of radio frequencies, depending on how these terms are defined. The marked frequencies at 0.322, 0.460, 0.915, and 2.45 GHz correspond to the principal electromagnetic frequencies within this range that are approved for domestic and some for international use. 2.45 GHz is the most common, being the frequency in widespread use worldwide in kitchen microwave ovens. 0.915 GHz is the frequency of choice worldwide for microwave drying applications, such as curing ceramics, drying pastas, pet food, peanuts, and non-wovens, *etc.* Note their proximity to two of the aforementioned peaks. The peaks at approximately 5.75, approximately 11.6 and approximately 18 GHz suggest these frequencies as additional options for the microwaves in this process.

The data provides sufficient input to proceed with defining the next step required in the design of a core electromagnetic-radiation system. Use of this information is illustrated below (item 7).

- 2) Calculation of penetration depths of electromagnetic radiation into wet and dry coals at electromagnetic frequencies available and approved for domestic and international use in microwave applications

In further support of the effort to understand the interaction of electromagnetic radiation with coals, wide-ranging theoretical calculations were carried out based on our studies of the interaction of electromagnetic radiation and materials in several laboratories dedicated to such studies over the entire period dating back to the late 1960's. These calculations include the effects of absorption and reflection of electromagnetic radiation using different physical parameters with wet and dry coals, with layers of coals, in contact and with air gaps, and temperature effects and depths of penetration for a large variety of input parameters. Supporting laboratory electromagnetic-radiation measurements included studies of the effects of particle size, shape, surface roughness, and electromagnetic properties.

Calculations of the penetration depths at each of the aforementioned four frequencies are provided in FIG. 2. Although the calculations are for unbound or free water at 25°C (properties vary with temperature), the differences in penetration depths at different

frequencies also apply to coal, especially high-moisture coal, to a first approximation. Said differently, penetration increases very significantly as one moves to lower frequencies; for the example shown, the penetration of electromagnetic radiation into water at 0.322 GHz is more than 30 times its penetration at 2.45 GHz. Significantly, in our laboratory processing, we were able to penetrate various coals 3 to 4 times deeper at 2.45 GHz than predicted. We ascribe this difference in major part to the fact that water is distributed randomly throughout coal and not in single or multiple layers; i.e., there are pathways through coal in which electromagnetic radiation will encounter little or no water and thereby penetrate more readily or in some cases pass directly through the coal in those regions. Further, penetration increases very significantly as the coal and its trapped moisture increase in temperature. An additional, but smaller, factor derives from differences in the properties of free and bound water. It is important to note here that surface temperatures of coal during processing are most often found to be 70°C and above, the latter when reductions are also sought of sulfur and ash. Since interior temperatures can be even higher than surface temperatures, deep penetration can be ensured by proper selection of electromagnetic operating frequency and by paying careful attention to the temperatures measured during processing.

The importance of such measurements, especially for de-moisturization, derives from the fact that the increase in penetration depth as one goes to lower frequencies more than compensates for the relatively small decrease in water-absorption efficiency (FIG. 1). This relationship plays directly into the need for increasing the depth of the coal to be processed if large, commercially viable throughputs are to be realized.

3) Determination of raw-coal properties

Coals range from a soft, moist brownish material to a very hard, glossy black solid, and its physical and chemical properties can vary considerably depending upon how, when, and where the materials were deposited, the types of organic material present initially, and its alteration over time. The sizes and shapes, hardness, volatility, carbon content, trace minerals, combustion and other properties vary widely within each rank of coal, from mine to mine, and within each mine or seam.

The following properties of the raw coals selected for processing are determined: moisture, BTU/lb, ash, forms of sulfur (e.g., pyrite, sulfate, organic), sizes, structure, and hardness (grindability). The first step in determining the properties of any raw or mine-run coal that is being considered for processing is to sample the coal by accepted standards. These standards include ASTM Standards D 388 (Classification of Coals by Rank), D 2013

(Method of Preparing Coal Samples for Analysis), D 3180 (Standard Practice for Calculating Coal and Coke Analyses from As-Determined to Different Bases), and US Geological Survey Bulletin 1823 (Methods for Sampling and Inorganic Analysis of Coal). For some coals and lignites there are large observable differences as to structure (*e.g.*, smooth or rough or plate-like), coloring (*e.g.*, brown as in some dust-like Asian lignites, black and hard east Texas lignites, lines or streaks or patchiness) and composition (*e.g.*, heavy or light with obvious pieces of ash or pyrite or even woody-textured pieces of vegetable matter or wood seen in some lignites), wet or dry, the distribution of sample sizes, *etc.* Some raw samples are also selected for testing based solely on such observable characteristics, and some samples that have these features randomly mixed are also selected to fully examine each of the many differences observed in coals. Since there is no single sampling standard that provides for such diversity, a comprehensive and consistent sampling method was developed, whereby no such differences go unexamined.

Pursuing the objective of the subject coal-process technology to enhance all of the combustion properties of coal, the next step is to select an experienced and widely accepted testing laboratory (such as Standard Laboratories, Inc.) that is certified to test the widest possible variety of physical and chemical properties of coal. Each of the following properties can be measured: percent moisture, percent ash, percent volatiles, percent fixed carbon, BTU/lb (as received, dry basis, and moisture- and ash-free), forms of sulfur (percent of each of total, pyrite, sulfate, and organic sulfur, as received and dry basis), Hardgrove Grindability Index (HGI), mercury (PPM dry), ash fusion temperatures, and ash mineral analysis. The terms used here are as defined by Standard Laboratories and are common to the coal-testing community and have been defined elsewhere.

It is important (a) to test enough samples to more than cover those samples selected due to their different appearances, (b) to send a larger amount of each sample than is required for testing, (c) to carefully document in every case the criteria used for sampling, and (d) to maintain a control sample from each batch of raws sent for testing. Following receipt of the test results and sample remnants not used by the testing laboratory, it is important to carefully log in the results, *e.g.*, via a spreadsheet (*e.g.*, using Excel™ software) that will permit various statistical samplings, averaging, *etc.* It is also important to carefully study the test results so as to uncover possible correlations between the test results and the various sampling criteria used, including observed differences in appearance. In this manner, it is possible to fully and properly characterize the distribution or range of properties that can be said to represent on average the coal batch sampled.

4) Definition of processing goals (e.g., properties sought and the amounts to be processed)

Next, the processing goals are typically, if not always, defined by the party seeking improved properties for their own coals or for outside coals brought in for their specific needs. These goals can include improvements to one or more of the combustion properties of the coals, with the same improvements being made to all of the coal or processing some of the coal to higher properties thresholds and blending it with unprocessed coal to obtain the desired overall properties on average. For example, power plants that burn low-grade, low-BTU/lb lignites often bring in higher-grade western coals to blend with the lower-grade coals in an effort to achieve lower emissions and increased operating efficiency.

Other important considerations relate to the throughput being sought. For small scale users that only consume 25,000 to 50,000 tons per year, a lower-cost option might be to process in batch mode or batch/continuous mode. The latter method makes use of boxes or drums that are loaded with coal, moved into position under an electromagnetic-radiation processing surround-system, processed, uncoupled from the processor and moved along the processing line to exit and dump while follow-on coal-loaded containers are moved into position for processing. For the very-high throughputs required in most coal handling and processing, the coal is processed in a continuous, on-the-fly manner. This places one of the most difficult demands on any process system and is one of the several reasons why teams of scientists and process engineers have worked tirelessly for decades in an effort to develop a useful and affordable means for processing coal prior to burning, but without success. The significance of throughput on the design and operation of a process system is shown by example in section 7, below.

5) Use of small-scale (10 to 40 pounds) laboratory tests to determine each coal's actual response to key process parameters

The coals are pre-process tested in a laboratory-controlled setting to determine first hand the response of the coals to the process system being designed for use in the field. The information from this testing ensures that a process system can indeed fulfill the goals for which it is being designed. The coal batch is systematically sampled and processed to ensure that the results will provide this significant input to the core process system design.

The tests utilize a versatile laboratory process system designed specifically for this purpose. The laboratory system has the following characteristics:

- The microwave frequency is 2.45 GHz. With information obtained from FIGS. 1 and 2, one can "pre-process" the coal at a frequency different from that in the process system designed for field use, and one can then relate the results at this frequency to what can be expected at the field-system frequency. This correlation has been further verified by the excellent agreement in properties obtained from processing coals from the same batch using two different frequencies in continuous mode and one of the same frequencies in batch mode.
- A hermetically-sealed microwave leak-proof chamber with easy front loading and capable of processing from 10 to 40 pounds is provided for irradiating the samples; processing of smaller amounts makes it more difficult to ensure that sufficient samples are processed to properly evaluate their responses to the multi-parameter system designed for field processing of the coals.
- The system offers the ability to vary applied electromagnetic power in any amount over the range from hundreds of watts to over 3,000 watts. This flexibility is due, in part, to our use of three magnetrons, whereby power is duty-cycled at such short intervals so as to be approximately equivalent to being able to instantaneously vary power levels.
- The aforementioned three magnetrons are positioned carefully to obtain "proper" field orientations. For example, each of three magnetron 1002 outputs can be individually guided through a rectangular waveguide into the processing cavity with a tuner 1003 and a power monitoring port 1004 in its path (see FIG. 13). The microwave polarization direction, along which the electric field vibrates, is perpendicular to the wider side of the waveguide mouth at the cavity entrance. Any two neighboring input polarizations have to be properly oriented, e.g., perpendicular to each other, in order to minimize coupling between the respective two magnetron sources. Similarly, the three entrances are properly located in the cavity so as to minimize unwanted magnetron interactions. The magnetrons can be used singly or together with power levels selectable on each. Adjustment (or setting) of the position and depth of a traveling probe in the afore-mentioned tuner provides an efficient flow of microwave power by the so-called "impedance matching" between the source and the load. Tuning is easily monitored by a detector connected to the power monitoring port 1004, as shown in FIG. 13. Extensive timing and temperature tests are conducted

using water, wherein the magnitude of power flowing into the cavity is measured at each microwave power monitoring port 1004, and measurement of the temperature rise of a given amount of water at various locations in the cavity gives the actual power being absorbed. Mixing of modes [*i.e.*, pattern(s) or wave form(s) of the electromagnetic wave in the chamber] is tested and verified. Calibrations are performed. Extensive air handling is used with the chamber and separately with the power supplies to provide for their stability.

- The system also provides the ability to control the amount of airflow, with or without inert gas. An entry port is provided for forced airflow in and exit ports/capture cells are provided for airflow-carried liquids and gases emanating from the process chamber. It is helpful to have one port available for in-chamber, remote-sensing measurements of coal surface temperatures while processing.

This system does not require real-time measurements of moisture content, ash content, sulfur content or trace-minerals content or feedback systems coupled to process controls. Any system with similar capabilities will serve the purpose outlined here.

The first step in coal testing by Standard Laboratories and other coal-testing laboratories is to pulverize the samples and then determine the properties being sought. Processing of the returned pulverized samples would conflict with how the coals would be processed in commercial practice, making it necessary to show that processing mine-run coal would give the same results as that obtained by processing the same coal but pulverizing it prior to processing. This would add the further unacceptable time and cost required to pulverize the coal at the mine or power plant prior to processing.

Based on the above concerns, we chose to always process mine-run coal and not pulverized coal returned from Standard Laboratories following their testing. To provide results that are more representative than before and after processing tests of the same coals, two different sets of mine-run raws are selected for each coal batch to be processed. This approach requires that sufficient samples are tested in each set of raws and in the processed set to ensure that the methodology is indeed statistically significant and that it properly characterizes the raw and processed coal properties on average. The remarkable reproducibility of these measurements strongly supports this approach; *e.g.*, different samples with the exact same starting weight almost always lose precisely the same amount of weight when processed in the same manner. Further, we were unable to achieve the same process

system efficiency or consistency in results when processing pulverized samples of the same coals.

Note that this step in the process is intended to further define and refine the core process system design for its intended coals and not to substitute for full-scale tests of the final process system.

6) Collection of baseline information for each coal

Baseline information, such as location of each coal considered for processing (coal mine or utility), their amounts and how they are moved (conveyor belts or trucks or barge and/or coal train, etc.), system footprint space available, available electrical power and cost, and how best to move the coal to and from the processor, is collected. Site factors, process system size, configuration, and design are directly affected by considerations such as the availability of adequate power and water at the mine or power plant site, system footprint space available (typically limited at power plants), and the means and speeds by which the coal is transported on site. Conveyor belts are used to transport coal at most mines and power plants, their having a variety of sizes, speeds, and belt materials. Since it is expected that existing conveyors will transport coal up to and from the process system and, in some instances, even transit the process chamber, the process system input and exit feeds are designed and sized for the conveyor systems in question. If the conveyor belts transit the process chamber, their materials become especially important and must be taken into account in both the design and operation of the process system; e.g., metallic (electromagnetic reflecting) or nonmetallic (electromagnetic absorbing) belt materials introduce very different electromagnetic effects, and screens lose fines and smalls which can result in mechanical problems in the transport system.

The conveyor belt load capacity and speed also directly determine process system throughput capacity and operation, whether or not the belt feeds through the process chamber or couples into a coal feed system for the process system.

7) Use of the information obtained from 1 through 6, above, to develop a core process system design for each coal batch selected for processing

The following is intended as a walk-through of an example of a design of an electromagnetic-radiation-based process system for obtaining a specific post-processing combustion property or properties for a given solid fuel or coal type.

Initial Assumptions, Requirements, and Choices:

Raw lignite with 36% moisture and 7300 BTU/lb (matching the coal from Table 3 in the Experimental Results section, *byra*) is processed with the goal of obtaining 23% moisture and 8000 BTU/lb. Whereas Table 3 lists results from processing a very small sample (several pounds) at moderate power (5 to 20 kW) for short times (10 to 120 seconds), the intent of this example is to provide a guide as to how one can process the same coal but with much larger quantities and therefore much higher power but comparable dwell times.

The throughput is set at 10 tons per hour (TPH) or 66,000 tons per year (based on 20 hours per day for 330 days), and the lignite is processed on a continuous or on-the-fly basis. The rate (10 TPH here) is generally chosen by the user based on current mine output or that portion of the output to be processed and the existing coal handling systems or modifications thereto required to handle the amount of coal to be processed.

Since the largest-sized chunks of lignite upon exit from typical first mine grinding stations are approximately eight inches in largest dimension, the process chamber entry slot and other coal passage clearances are 9 to 10 inches in height. Otherwise, a pre-processing step is utilized to screen out larger chunks or break them into smaller pieces. Chamber dimensions are a significant and often limiting electromagnetic-radiation system design parameter (refer below).

For choice of electromagnetic-radiation frequency, refer to FIGS. 1 and 2.

Magnetrons (the basic element that generates microwaves) at 2.45 GHz are primarily used for relatively low-power laboratory, commercial, and kitchen oven applications and are not manufactured with the high powers (e.g., 75 kW or greater) required for effectively processing coal according to methods described herein. Further, 2.45 GHz does not provide the penetration required for the amount of coal and the coal carrier depth. The waveguide and chamber dimensions for optimally designed electromagnetic-radiation systems (high efficiency, uniformity, and safety) at this frequency are too small to accommodate coal sizes larger than 1 to 2 inches.

0.915 GHz is the frequency of choice for many electromagnetic-radiation drying applications, and 75 kW and 100 kW magnetrons are proven and widely available, and can be ganged together to achieve the power levels required for large scale coal processing (see below). Limited penetration depth and small electromagnetic-radiation system dimensions restrict this frequency's use to low-throughput processing of relatively small-sized coals.

Magnetrons that generate 0.460 GHz electromagnetic radiation are not manufactured in the United States, and there have been difficulties in their performance and servicing and meeting promised delivery schedules.

Relatively new to the commercial marketplace, magnetrons that generate 0.322 GHz are manufactured in the United States with a variety of powers.

Where, e.g., 10 tons (20,000 pounds) of coal is processed per hour, a reduction of 13% moisture corresponds to removing 260 lbs of water per ton or, in this case, 2600 lbs of water per hour.

Measurements of sample weights before and immediately after processing provide information that can be related directly to percent moisture reduction. Additional weight measurements 30 minutes after the end of processing and 24 hours later always find still further weight reductions, adding up to a total post-processing weight reduction of 3 to 5%.

We very-conservatively estimate that use of a pre-heating phase (e.g., using thermal or infrared radiation, which is at a different frequency from that of the later applied electromagnetic-radiation in a separate chamber or in a separate part of the chamber) prior to active electromagnetic-radiation processing can further reduce the weight by 2 to 3%. Taken together for the example used here, the targeted 13% moisture reduction can be lowered conservatively to approximately 8% that would need to be targeted by the electromagnetic-radiation segment of the process. This reduction resulting from pre-heating results in the need to remove 160 pounds of water per ton by electromagnetic-radiation processing instead of the 260 pounds needed in the embodiment.

At 100% efficiency, 1 kW of electromagnetic energy can evaporate 3.05 lbs of water per hour at ambient temperature. For well-designed electromagnetic-radiation systems, 98% of that energy is absorbed and converted to heat. For reference, 1 kW of applied electromagnetic energy requires approximately 1.15 kW of electricity and evaporates 2.989 lbs of water. Therefore, 61.6 kW of electricity is required per 160 pounds of moisture removed [i.e., 160 pounds times 1.15 kW per 100 kW of applied electromagnetic power divided by 2.989 pounds]. From the above, we obtain a power requirement of 533 kW per hour (20,000 pounds divided by 300 lbs of water times 8% per 100 kW). Therefore, three separate 200-kW systems can be employed. Process systems are used in parallel or in line, depending upon the available footprint space for the systems and the material handling systems that fit the location.

Other Process Parameters and Observations:

- Processing time or dwell time in a conveyor processing system:

The processing time (over the course of which a sample is subject to the radiation) is typically 5 seconds to 45 minutes, depending on the size and configuration of the

process chamber, the electromagnetic power available, and the sample size. Small samples require shorter processing times, *etc.* (see Table 3). Dwell times for high-throughput processing can be scaled appropriately, but current power limitations require that high throughput (hundreds of tons per hour) can only be obtained by coupling several separate process systems.

- Chamber atmosphere:

Significant airflow is provided to carry away liquids and gases resulting from processing. Insufficient airflow will result in moisture condensing on chamber surface walls, resulting in loss of electromagnetic efficiency and arcing and possibly combustion, which must be avoided. The amount of airflow required depends on the size of the processing chamber, the sample size being processed, the amount of by-products being released into the chamber, air temperature, *etc.* The simplest way to check for sufficient airflow is to periodically stop processing to observe chamber surfaces to see if they are wet. At the same time it is helpful to observe fracturing and any possible graying or reddening of coals that could result from hot spots. Finally, if by-products are seen exiting the chamber via tubing or capture coils, the airflow is probably adequate.

- Coal temperature:

For moisture reduction only, coal surface temperatures should be kept at or below 100°C. This is readily monitored with hand-held (infrared) temperature sensors or remotely with thermal probes positioned inside the process chamber.

- Use of inert gas:

If coal temperatures are maintained at their recommended levels for moisture reduction, there should be no flaring and combustion, and inert gas will not be required. In embodiments where inert gas is used, it can be flowed through the chamber at a rate of at least 15 cubic feet per hour.

- Hydrogen:

Hydrogen gas is not necessary for moisture reduction. Though, hydrogen gas can be supplied during the sulfur-reduction phase of the process.

- On-line measurement systems for moisture, ash, sulfur, trace minerals and temperatures:

In practice, measurement and feedback systems are coupled to process parameters, such as electrical power, applied electromagnetic power (and the ability to change both the power level and its on/off duty cycle), and processing time to ensure that targeted levels of properties are achieved and not under- or over-processed.

5 For the example given here, and if all else is as recommended above, only applied electromagnetic power and exposure time require change, and only surface temperatures need be monitored.

- In-house and coal-certified testing laboratory testing of combustion properties:

10 Since there is a direct correlation between weight loss and reduction in percent moisture, taking weight measurements before and after processing and even during processing should be part of the processing regimen. Finally, coal-testing laboratories can provide quick and accurate measurements of percent moisture and BTU/lb to further verify that targeted levels were achieved.

15 8) Study of local, state, and federal permitting and regulatory requirements and their impacts on process system design and operation, including the collection and handling of by-products

Is it possible to design a dry and single-stage process system that can meet all of the aforementioned requirements? In a word, yes. But before finalizing the design of an intelligent process system able to provide the specific properties sought for a particular coal, 20 it is necessary to first carefully study all local, state, and federal permitting and regulatory requirements for the location at which the process system will be used; those requirements can and often do affect both the design and operation of a coal processing system. After taking those requirements into account, the aforementioned core process system can be modified as needed.

25 Mines and coal-fired utility plants have different sets of requirements, often resulting in differences in the design and operation of a system for the two classes of operating locations and even within a given class. For example, many utilities have to seek advance approval to handle and burn any coal with properties different from the coals currently approved for use, even if the "new" coals are documented to be cleaner and more 30 environmentally friendly. This can even require that process systems be designed so as to meet certain combustion requirements, individually or collectively, such as restricted

emissions of SO₂ or NO_x or CO₂. Some of the requirements are analogous to the oft-used term "environmental impact statement." Examples of such requirements include:

- **Liquids, solids, and gaseous emissions from the process:**

5 Liquid, solids and gaseous emissions can be managed by the elements outlined in FIG. 4. Even a system that contains all by-products of its processing must be certified to meet mandatory handling and collection requirements.

- **Odors emanating from the process:**

10 Containment of process by-products does not, in itself, eliminate odors; but the odors should be minimized by the by-products airflow system. If there are substantial residual odors, it may be necessary to add materials via the air carrier to absorb or otherwise minimize odors.

- **Fire and explosion control:**

Standard procedures and systems are available to meet these requirements, such as temperature sensors, infrared detectors and imaging systems.

- 15 • **Dust control:**

While always a concern in any coal-handling environment, the generation of dust is primarily associated with the coal's entry into and exit from the chamber. Since it is anticipated that this coal transport will be accomplished in part via use of existing on-site conveyors, external dust should be minimal. Dust generated in the system will be controlled by the by-products handling system.

20

- **Air pollution (including haze or fog), chemicals and hazardous materials:**

Pre-shipment qualification tests will be conducted to verify that the system is air pollution-free or substantially free of pollution. No chemicals or hazardous materials are used or introduced into the system other than the possible use of inert gas, which is not considered hazardous.

25

- **Safety and containment of electromagnetic radiation:**

Safety levels for exposure to microwave radiation are strict and regulated, requiring that each and every process system that uses microwave radiation be certified to meet these levels and guidelines. Many manufacturers of large scale microwave drying systems meet these regulations by configuring their systems in a manner that makes

30

them impractical and unsuited for use with the large throughputs required for coal processing.

One solution is to make use of one of the microwave-systems manufacturers that focus on minimizing or completely containing microwaves; i.e., that have no detectable leakage. It is important to note that materials exiting from a microwave chamber after processing still emit some level of microwave radiation for a short period of time even after exit from being microwaved, including food exiting from kitchen microwave ovens, although those levels are very low. In addition to interior systems designs that deny exit of the microwave, one can shield the systems externally with properly placed metal screens and metal duct tape. In any case, regular and systematic surveys are conducted in search of microwave leakage to ensure that safety systems have not been compromised. Microwave-leakage detectors can be purchased or designed and built for a specific application.

9) Modification of the core process system

The core process system is modified in design, as needed, based on information from 8, above.

10) Design, fabrication and testing of each of the four major process subsystems

Each of the four major process subsystems (i.e., pre-heating system, electromagnetic-radiation system, multi-parameter measurement and feedback system, and by-products handling system) is designed, built, and separately tested.

11) Integration and functional testing of the four sub-systems when operated together

The next step is to integrate and functionally test the four sub-systems when operated together, followed by full end-to-end process system qualification and verification tests, the end-to-end tests conducted using samples of the coal batch for which the process was designed.

Steps 10 and 11, above, offer a proven, effective, and standardized methodology for use when developing a major system that consists of several sub-systems and is used in laboratory and commercial settings and even in ocean, atmosphere, and space environments, where equipment must often be operated remotely.

12) On-site installation

Following successful completion of full-process-system-performance testing, the custom-designed and fully tested intelligent process system is shipped to its intended operating location. Upon arrival, the system is further tested to ensure that there are no changes due to handling and shipping. Then, the process system is moved into its intended position and integrated with the existing on-site coal handling system or appropriate changes thereto, electrical hookups, water, and air or inert gas generating systems, as required, and is further tested prior to being put into service.

B. Control, Monitoring and Management

If not controlled so as to alter the sequence by choice of frequency or other process parameters, the process results in fracturing of the coal matrix followed by liberation of moisture and then ash and then sulfur. For some coals, the stages are separate and distinct, while for others there is overlap in the stages; e.g., for some, ash and sulfur emissions begin while moisture is still being liberated.

To provide some measure and monitoring of the overall uniformity of processing, surface temperatures of the coal are measured at several positions in the process chamber as the coal is being processed. Because the coals are not uniform in size, shape, or properties and are not uniformly distributed on the conveyor, such temperature measurements can be considered to provide representative data on average. Further, because the coals are undergoing fracturing, some of the measured temperatures may approach internal temperatures, which are generally somewhat higher. The intent is to have the capability to avoid large variations in temperature by adjusting microwave power as needed in such regions.

Moisture liberated from the coal can be collected by any of several methods, such as, but not limited to:

- moisture can be condensed on the walls of the chamber and forced downward by dry air into a collection and storage system underlying the process chamber;
- moisture-laden air can be driven out of the chamber by forced dry air (positive pressure) along the axis of the process chamber, and the moisture in the air can then be collected by condensation; and
- moisture-laden air can be pulled out of the chamber by forced dry air (negative pressure), and the moisture in the air can then be collected by condensation; small

particulates (not fines) and gases are air-driven to a capture cell where they are collected, separated, and stored.

If de-moisturization and increased BTU/lb are the primary or only changes in properties being sought, then an on-line moisture analyzer and feedback system can be included. This system can determine when processing has reached the levels of moisture that will provide the desired BTU/lb, and the system can then change or shut down the processing, as needed.

If specific reductions in ash and sulfur are the primary changes being sought, then an on-line chemical (sulfur and ash) signature level analyzer can be included. As before, a feedback system optionally can be used to change or shut down the processing. Optionally, an off-line sampling, weighing, and testing station is also available for use, as needed.

In practice and for most coals, minimal sampling and testing is required, on- or off-line, and the process operator is able to use prior experience to judge when the desired coal property levels have been reached. Coals exit the process chamber into a discharge chute that is designed to fit the system location and process flow rate (tons per hour); e.g., the chute can be designed to feed a loading station, couple to another conveyor, etc.

The overall result is that this process methodology, with its ability to custom-design systems, can produce designer coals; i.e., any rank or form of coal can be processed so as to become a new and different coal with any of a wide variety of properties available per customer selection. Said differently, these methodologies can be used to create new coals with a wide variety of enhanced fuel properties not found in raw, unprocessed coals.

C. Embodiment of the Method

FIG. 3 illustrates a flow diagram of an exemplary method 100. The method 100 illustrates handling and processing steps to improve the combustion characteristics of a fuel such as coal or another carbon-based fuel. The method 100 can be executed or otherwise performed by any of various systems and apparatuses. The method 100 is described, below, as carried out by a system 200, shown schematically in FIG. 4, by way of example; and various elements of the system 200 are referenced in explaining the example method of FIG. 3. The invention may implement, and be embodied in, other systems and processes as well. Reference will now be made in detail to exemplary embodiments of the invention as illustrated in the accompanying drawings. The same reference numbers are used throughout the drawings and in the following description to refer to the same or like parts.

Each block shown in FIG. 3 represents one or more steps carried out in the exemplary method 100. In block 102, the example method 100 begins in block 102, where raw fuel is received for processing. For example, raw coal can be received for processing by method 100 in the raw fuel section 202, shown in FIG. 4 and described below.

5 In some instances, the raw fuel is sized. Raw fuel is sized to a predetermined size by a crushing device. For example, raw coal can be sized by the raw fuel section 202 as shown in FIG. 4 and described below.

Block 102 is followed by block 104, in which a composition characteristic of the fuel is determined. The fuel is analyzed to determine a composition characteristic such as the
10 moisture content of the fuel. For example, a moisture analyzer can be used with the process conveyor section 204 and/or feedback system 206 (shown in FIG. 4) to determine the moisture content of the fuel.

Block 104 is followed by block 106, in which the characteristics of the coal desired by the consumer are determined. The desired fuel properties and raw coal composition are used
15 to establish the "design" parameters of the process system chosen. The power and duration of applied energy can be based on the desired combustion characteristic, such as moisture content, and can also be based on the relative speed or throughput of the fuel relative to an electromagnetic-radiation generator 208 (shown in FIG. 4). The "duration" of applied energy can be in the form of a duty cycle, whereby the power is cycled on and off to provide a
20 reduced average power level. In the example above, the moisture content of the raw coal and the desired properties are used to determine the amount of wave energy and other process parameters needed to create the "designer" coals. Utilizing a moisture analyzer, the feedback system 206 can monitor the fuel and selectively adjust the power and duration of electromagnetic energy to obtain the desired moisture level.

25 In the system embodiment described below, a series of electromagnetic-radiation generators (similar to 208) can be activated to provide a selected amount of electromagnetic energy to a bed of coal on a conveyor bed or the process conveyor 204 passing adjacent to the electromagnetic-radiation generators so that the bed of coal is sufficiently penetrated to remove a particular amount of moisture, ash and sulfur from the bed of coal.

30 Block 106 is followed by block 108, in which the electromagnetic frequency, amount of wave energy and inert gases are applied to the fuel. As described in the system embodiment, below, the series of electromagnetic-radiation generators can be activated to apply a specific amount of wave energy to the fuel.

Block 108 is followed by blocks 110, 112, and 114, where by-products are removed or otherwise collected from the fuel. As a result of the electromagnetic energy applied to the fuel by an electromagnetic-radiation generator 208, one or more by-products such as excess moisture, ash or sulfur may be generated from the fuel. These by-products are collected in one of the blocks 110, 112, 114, as is further described below. For example, in block 110, an amount of moisture is removed or otherwise collected from the fuel. In block 112, an amount of sulfur is removed or otherwise collected from the fuel. In block 114, other by-products are removed or otherwise collected from the fuel. As a direct result of the electromagnetic energy applied to the fuel, combustion characteristics of the fuel are improved. The improved fuel is collected by or otherwise received in the enhanced fuel section 116.

D. Fuel-Processing Parameters

The sizes and shapes, hardness, volatility, carbon content, trace minerals, combustion and other properties of coals vary widely. Therefore, the coal process parameters chosen will also vary widely, varying according to the following factors: the amount of coal to be processed, the time and place available for processing, whether the coal is processed in batch mode or continuously or some combination thereof, the purposes for which the processing is being performed, and the intended use(s) for the coal. Said differently, generalizations cannot readily be made as to process parameters, though ranges suitable for use with the process can be identified, as is outlined below.

1) Electromagnetic wave energy

Suitable frequencies of electromagnetic generators can be used in the process range from below 100 MHz to above 20,000 MHz. A single frequency or multiple frequencies can be used, simultaneously or alternated, or in stages. The frequency or frequencies can be continuous or pulsed or duty-cycled (i.e., timed so as to power-on and power-off in much the same way that kitchen microwave ovens function).

2) Power

The power of the electromagnetic generators can be 100 watts to 100,000 watts, extending to megawatts

3) Processing times

Suitable electromagnetic radiation on-times range from 5 seconds to 45 minutes, depending on processing goals.

4) Capacity

When the system is designed to operate in batch mode, the capacity of the system can range from ounces to tons. In continuous processing systems, tens of pounds to hundreds of tons per hour can be processed. The chamber atmosphere can be dry oxygen to provide more
5 uniformity in the wave energy and in the process results. An inert gas atmosphere prevents production of oxides such as SO₂, CO₂, and NO_x during processing and reduces or eliminates the risk of flaring and/or combustion.

5) Temperature of coal and air

The temperature of the coal at its surface and at its interior can range from ambient to
10 approximately 250°C during processing.

Related process parameters are surface temperatures of the coals being processed and temperature of the air inside the process chamber. Electromagnetic-radiation processing in a laboratory test setting is better evaluated and better understood if periodic measurements are made of the surface temperatures of the coals; these measurements can be easily made with
15 hand-held infra-red sensors or temperature probes positioned inside the chamber. For large-scale, continuous processing of coal, such temperature measurement and monitoring is even more important. Temperature thresholds are pre-determined separately for every different set of coals to be processed and are dependent on the goals of the processing (e.g., moisture reduction alone or combined with additional reductions). High-moisture coals will absorb
20 electromagnetic radiation more readily than low-moisture coals and will, therefore, reach any given temperature more quickly. Reaching or exceeding ignition-threshold temperatures can result in loss of BTU/lb of the coals even if combustion is avoided by the use of inert gas. Therefore, processing systems are provided with coupled temperature measurement and feedback systems to ensure that, if temperatures reach these thresholds, process parameters,
25 such as applied microwave power or dwell time or airflow, are triggered to be modified immediately. Such temperature thresholds can be laboratory pre-determined for each set of significantly different coal batch properties; alternatively, the temperature threshold can be determined from processing experience.

Another type of temperature threshold is that associated with changes in materials,
30 with sulfur being of particular interest here. The predominant form in sulfur vapor melts at 119°C and is a yellow, transparent liquid at temperatures up to 160°C, where sulfur undergoes a molecular transformation whereby sulfur atoms produce a dark viscous liquid. Said differently, temperatures below 119° or above 160°C result in very different physical and chemical properties of free sulfur or sulfur bound in coal and must be taken into account if

one is to be able to reduce sulfur content in any predictable manner. We have observed sulfur in each of those different forms during process testing. As still another example, one coal batch of the many coals sampled emitted thick clouds of yellow fumes within seconds of the start of processing, even before moisture was released. No other coal tested responded in this manner. Similar pre-processing testing considerations apply to ash, which typically precedes sulfur in being liberated by this processing methodology. A maximum temperature limit can be set at about 200°C for convenience and because higher temperatures may introduce other, undesired changes to the coal or can cause the coal's properties to change too quickly to readily control.

Finally, detection of a higher-than-expected chamber temperature could be an indicator of combustion and possibly pose a safety concern as well as a processing concern (i.e., providing more reason to include temperature-monitoring and feedback systems as an integral part of all processing systems). Systems for visual monitoring and remote imaging can also be used to ensure that there is redundancy in meeting both safety and processing concerns.

6) Airflow

Airflow is an important and multi-purpose process parameter. Dry, particulate-filtered air is particularly suitable, with the amount of airflow dependent upon the configuration and size of the process chamber and how coal enters and exits the chamber. Controlled airflow helps to mix the air in the process chamber, insuring a more-uniform distribution of heating in the chamber. Air is the carrier for process by-products such as moisture, fine particulate matter and any gases that result from the processing. Sufficient airflow negates any possibility of electrical arcing or sparking during processing in cases where the batch being processed (i.e., the load) is sufficiently large for the chamber size, shape, and power levels used.

Without airflow, moisture condenses on chamber walls, with several negative effects. The wet surfaces absorb some of the electromagnetic radiation and thereby reduce the overall efficiency of the system, requiring longer processing. Further, moisture drops onto the coal and results in uneven heating and uneven penetration of electromagnetic radiation throughout the coals, making it more difficult to obtain results that are consistent or representative of the entire coal batch being processed. The result is that some of the coals toward the bottom of the batch being processed would not be completely penetrated by the microwave radiation and would not be fractured to the same extent as coals closer to the top of the batch, and, therefore, would not have the same amounts of constituents released. Finally, the

sforementioned uneven heating would result in so-called hot spots, which are a precursor to flaring, ignition, and combustion, all of which must be avoided during processing.

With airflow on and without using a by-products collection and storage system, vapor can be seen exiting the process. For short-term processing only, colorless water vapor can be seen exiting the chamber during processing. When processing is continued and/or makes use of other process parameters to remove other constituents, the vapor will change color, the vapor first having a yellowish tint and a smell that is characteristic of the presence of sulfur and sulfur compounds. Continued processing will result in darker-colored gases and liquids carrying other forms of sulfur and ash being released. Sulfur can be released, e.g., at a temperature in the range from 130° to 240°C. If processed long enough, hydrocarbons and tars will also eventually be released, the last two being undesirable since they would evidence the loss of heat content of the coals.

7) Inert gas

Use of inert gas in the chamber is optional. Where inert gas is used in the chamber, the amount of inert gas depends on processing goals.

Inert gas (preferably dry nitrogen or argon) serves several purposes. Any of several factors can result in overheating part of a coal batch or sample or part of a chunk of coal to a level where there could be ignition and combustion. Use of a nitrogen or argon atmosphere in the chamber will prevent any burning of coal during processing. Nitrogen is readily available in dry, gaseous form, tanked and metered for laboratory use, and 20 to 25 CFH (cubic feet per hour) provides sufficient flow to carry away liquid and gaseous by-products during processing in small, kitchen-sized microwave chambers while preventing combustion. Larger chambers require appropriately-scaled larger volumes of nitrogen flow.

Commercially available pressure-swing systems are available and in common practice in other applications; these systems take nitrogen directly out of the air when large amounts are required such as that for processing coal at a mine or coal-fired utility. Nitrogen is the inert gas of choice due to its widespread availability and lower cost compared with that for argon, but only if one assures that coal processing is stopped before reaching the undesirable hydrocarbon and, especially, tar phases, where hazardous compounds can be formed from chemical compounds resulting from exceeding temperature thresholds or from processing for too long. Use of an inert gas atmosphere in the chamber also prevents the production of oxides such as SO₂, CO₂, and NO_x during processing.

2

8) Hydrogen

Use of hydrogen (e.g., introduced via a hydrogen generator) in the chamber is optional. Hydrogen can be introduced to further control changes occurring in the coal during processing.

5 9) Atmospheric pressure in the process chamber

The pressure in the process chamber is typically one atmosphere, but process parameters can be altered as/if needed when processing at elevation (above sea level). Vacuum can also be applied in some cases.

10 10) On-line measurement systems

On-line measurement systems can be provided for measuring moisture, ash, sulfur, trace minerals and temperatures in the chamber. All are designed to provide feedback to adjust process parameters, as needed, to ensure that targeted levels are achieved and not exceeded and, thereby, that the coal is not under- or over-processed.

15 III. Apparatus - Embodiment A

A. Raw-Fuel Section

The system 200, shown in FIG. 4, includes a raw-fuel section 202. Raw-fuel section 102 can be a storage bin to collect raw coal or to otherwise receive raw coal to be processed by the apparatus. Typically, raw fuel is received from a remote location, such as a coal mine and collected in raw-fuel section 202, until called upon for further processing. Raw fuel, 20 such as lignite, anthracite, bituminous, sub-bituminous, low-sulfur, high-sulfur and blended coals can be stored in raw-fuel storage until needed. Selected amounts of raw fuel are sized by the raw-fuel section 202 for processing by other parts of the system 200. The raw-fuel section 202 can also include a series of one or more coal-crusher devices that break relatively large chunks of coal into smaller pieces of coal. Raw-fuel section 202 can include equipment 25 such as, but not limited to, a pulverizer, a coal crusher, a ball mill, or a grinder. By way of example, a coal crusher can be used to size raw coal to approximately a four-inch (10-cm) diameter. Larger or smaller sizes of coal or other fuel can be utilized in accordance with various embodiments of the invention.

B. Additional Interacting Systems

30 Raw-fuel section 202 is followed by process-conveyor section 204. The process-conveyor section interacts with the raw-fuel section 202 to receive a predetermined amount of fuel to be processed.

Process-conveyor section 204 is also interconnected with feedback-system section 206, electromagnetic-radiation-generator section 208, air-handling-system section 210, and processed-fuel section 212.

C. Feedback System

5 The feedback-system section 206 interacts with the process conveyor to determine a characteristic of the fuel, such as the percentage of moisture or the percentage of ash in the fuel. The feedback-system section 206 includes a moisture sensor 214, a temperature sensor 216, an ash analyzer 218, and a spectro-chemical analyzer 220. For example, using some or
10 all of these components, one can determine the approximate amount and duration of microwave energy needed to remove a particular amount of moisture from the fuel. Other composition characteristics that can be determined are specific amounts of ash, sulfur, hydrogen, carbon, nitrogen, and other compounds or elements in a fuel.

Note that other devices or methods are suitable for determining one or more combustion characteristics of a fuel. Such devices and methods can be used on-line or off-
15 line. Such devices and methods include, but are not limited to, moisture analyzers, ash analyzers, temperature sensors, and spectro-chemical analyzers.

The feedback-system section 206 and process-conveyor section 204 also interact with a process-control section 222. The process-control section 222 interacts with the
20 electromagnetic-radiation-generator section 208 to provide feedback control or other instructions from the feedback-system section 206 to control the electromagnetic-radiation-generator section 208.

D. Electromagnetic-Radiation Generator

The electromagnetic-radiation-generator section 208 applies microwave energy to the fuel at the process-conveyor section 204. The electromagnetic-radiation generator 208
25 includes a series of magnetrons positioned relative to the fuel at the process-conveyor section 204; the magnetrons direct electromagnetic-radiation energy into the fuel based upon the predetermined characteristic, such as the moisture percentage that is sought.

For example, each of the magnetrons of the electromagnetic-radiation-generator section 208 can be controlled in terms of adjusting the power, duration, and other parameters
30 to provide a sufficient amount or quality of wave energy to penetrate a fuel and to remove a targeted amount of moisture. The electromagnetic-radiation generators provide a specific, predetermined amount of wave energy to a fuel in accordance with the invention. Using information collected by the feedback-system section 206, such as moisture-content

measurements, the process-control section 222 can selectively adjust each of the generators to provide a particular amount of energy to the bed of coal at the process-conveyor section 204 until a specific amount of moisture is removed from the coal.

Note that other devices or methods can be used as wave energy means for applying a predefined amount of wave energy to a fuel. Such devices and methods include, but are not limited to, magnetrons, klystrons and gyrotrons.

Note that lower frequencies of electromagnetic energy penetrate deeper into a fuel material such as coal, than do higher frequencies. A suitable electromagnetic-radiation generator for the system 200 generates a frequency output between 100 MHz and 20 GHz. Other frequencies of wave energy can be used in accordance with other embodiments of the invention.

The power of the wave energy can be pulsed or continuous. In the example provided above, the generators can provide wave energy at continuous power. To regulate the wave energy applied to a fuel, the wave energy output can also be pulsed at a regular time interval at a constant frequency. The power per source in particular embodiments is at least 15 kW at a frequency of 928 MHz or lower and in other embodiments is at least 75 kW at a frequency of 902 MHz or more.

In addition, each of the generators can be controlled based on a "throughput" rate of a particular fuel being transported within the range of wave energy output by a series of generators. Throughput rate can be defined as the speed of a particular amount of fuel through the wave reactor for a particular period of time. For example, the throughput of a fuel, such as coal, can be 200 to 400 pounds (90-180 kg) per minute.

Note that each type of fuel can be treated with varying amounts and qualities of electromagnetic energy depending upon the type of fuel, the condition of the fuel, and other characteristics of the fuel environment or of the fuel itself.

B. Air-Handling System

The air-handling-system section 210 provides by-product collection for the process-conveyor section 210. The air-handling system 210 includes a moisture-collection/storage section 224, a gas-collection/storage section 226, and a by-product collection/storage section 228. The air-handling-system section 210 collects and stores by-products from the processed fuel. For example, application of electromagnetic energy to raw coal creates water vapor and condensed water at the process-conveyor section 204. The moisture-collection/storage section 224 collects the condensed water for storage and subsequent use. Water vapor and

gases can be collected by the gas-collection/storage section 226 for subsequent use. Other by-products from the process-conveyor section 204 are collected by the by-product-collection-storage section 228 for subsequent use.

F. Post-Processing Apparatus

5 The remainder of the processed fuel from the process-conveyor section 204 is transferred or otherwise collected in the processed-fuel section 212. Such devices may be but are not limited to a bin, rail car, storage pile, or conveyor that transports directly to a combustion process (not shown).

10 Fuel from the processed-fuel section 212 can then be utilized in a combustion process in, e.g., a combustion burner and steam boiler combination. The processed fuel from the invention can also be used in other conventional combustion processes.

G. Feeder and Conveyor System

FIG. 5 is a perspective view of an existing conveyor system 300 that can be modified in accordance with the invention. The conveyor system 300 shown is a SlipstickTM conveyor 15 designed and built by Triple/S Dynamics, Inc. The conveyor system 300 shown can be utilized or otherwise included with the process conveyor section 204 shown in FIG. 4. Various apparatuses in accordance with the invention may be constructed using the conveyor system shown in FIG. 5. Other conveyor systems can also be used in accordance with embodiments of the invention.

20 FIGS. 5-10 illustrate an exemplary apparatus 400 in accordance with the invention. The apparatus 400 can be integrated into any of various systems and performs various methods in accordance with embodiments of the invention. By way of example, the apparatus 400 can be incorporated into or otherwise utilized with the system 200 described above. Various elements of the system 200 are referenced in explaining the exemplary 25 apparatus of FIGS. 5-12. Furthermore, by way of example, the method 200 described above can be carried out by the apparatus 400 shown in FIGS. 5-12. The apparatus 400, as shown in FIGS. 5-12, includes a feeder assembly 402, a drive component 404, a conveyor assembly 406, and a reactor component 408. The feeder assembly 402 is adapted to receive a fuel, such as pre-sized coal, and is further adapted to direct the fuel towards the reactor component 30 406. The drive component 404 is adapted to transport the fuel through the reactor component 406. The reactor component 406 is adapted to apply a specific amount of electromagnetic energy to the fuel. The various parts 402, 404, 406, 408 and functions of the apparatus 400 are described in further detail below.

FIG. 6 illustrates a feeder assembly 402 for the apparatus 400. The feeder assembly 402 sits just above the entry end of the conveyor chamber forward of the slipstick drive mechanism. The feeder assembly 402 includes an input section 418, a transition section 420, and an adapter section 422. The feeder assembly 402 and its respective sections 418, 420, 5 422 are typically fabricated from approximately 0.13-inch (3.2 mm) thick aluminum plate. Alternative arrangements for a feeder assembly can be designed in accordance with the invention, depending upon the processing capacity of the system 200. The input section 418 is sized to receive fuel from the raw fuel section 202 of FIG. 4. In the example shown, the input section 418 is a funnel having a square-shaped cross-section that narrows from a fuel measurement end towards a transition section end. Note that the input section 418 can have 10 alternative configurations, shapes, and sizes depending upon the raw fuel section 202, the processing capacity of the system 200, and/or the shape of the transition section 420.

The transition section 420 is sized to receive pre-sized fuel from the input section 418, described above. In the example shown, the transition section 420 is a duct with a consistent 15 square-shaped cross-section from an input section end towards an adapter section end. A set of slide gates 416 can be installed at or near the input section end and adapter section end to provide control of fuel flow from the raw fuel section 202. Note that the transition section 420 can have alternative configurations, shapes, and sizes depending upon the processing capacity of the system 200, the shape of the input section 418 and/or the shape of the adapter section 422. Other types of gates or valves can be used in conjunction with the feeder 20 assembly 402.

The adapter section 422 is sized to receive fuel from the transition section 420 described above. In the example shown, the adapter section 422 is a concave-shaped piece that is adapted to fit with a corresponding opening of the drive component 404. Note that the 25 adapter section 422 can have alternative configurations, shapes, and sizes depending upon the processing capacity of the system 200, the shape of the transition section 420, and the drive section 404.

In some embodiments, expansion joints (not shown) can be installed with or used in conjunction with various components 418, 420, 422 of the feeder assembly 402 to 30 accommodate for any thermal expansion of the feeder assembly 402 or components operating adjacent to the feeder assembly 402.

The conveyor assembly 406 includes a transfer bed 424. The transfer bed 424 is adapted to receive a fuel from the feeder assembly 402 and is further adapted to transfer fuel along a portion of the length of the transfer bed 424 towards a collection area 426 at an

opposing end of the transfer bed 424. The transfer bed 424 shown is a horizontally-oriented, open-sided trough. The transfer bed 424 can have other configurations, shapes, and sizes depending upon the capacity of the system 200.

FIGS. 7-12 illustrate aspects of a transfer bed hood for the apparatus shown in FIG. 5.

5 As shown in FIGS. 7-12, the reactor component 408 includes a transfer bed hood 500 and a series of magnetrons (described in FIG. 4 as the electromagnetic-radiation generator section 208). The transfer bed hood 500 is adapted to cover the open-end portion of the transfer bed 424. The series of magnetrons is installed along the length of the transfer bed hood 500 and is positioned to provide electromagnetic energy towards fuel located within the transfer bed
10 424. As discussed before, the feedback system section 206, the process-control section 222, and the electromagnetic-radiation generator 208 interact with the process conveyor section 204 to control, monitor and adjust the amount of electromagnetic energy provided by the series of magnetrons aligned along the transfer bed hood 500 and transfer bed 424. Other configurations of a reactor component 408 in accordance with the invention can be
15 implemented with the system 200 or similar systems.

When activated, the conveyor assembly 406 applies a repetitive, actuation force to the transfer bed 424, and a solid fuel, such as coal, is fed to a proximate end of the transfer bed 424 from the feeder assembly 402. As each actuation force is applied to the transfer bed 424, the force causes the fuel to move toward a distal end of the transfer bed 424 (toward
20 collection point 426). While the fuel is moving along the length of the transfer bed 424, the magnetrons are activated to provide a specific amount of electromagnetic energy to the fuel in the transfer bed 342. The amount of electromagnetic energy is based in part on the amount of fuel in the transfer bed and the rate of movement of the fuel along the transfer bed 424, as determined by the feedback system section 206 and/or process control section 222.

25 H. Batch-Processing Apparatus

FIGS. 13-15 illustrate an apparatus 1000 for batch processing of coals or other solid fuels. This apparatus 1000 can be used in conjunction with or separately from the apparatus shown in FIGS. 5-12. The process methodology described by FIG. 3, specifically block 108, can also be implemented by the apparatus 1000. In the example shown, magnetrons 1002 are
30 utilized to apply a specific amount of electromagnetic energy to fuel such as coal placed within the apparatus. The wave energy is directed through a waveguide to the WG (waveguide) input on the apparatus. The apparatus 1000 includes electromagnetic-radiation

monitoring ports 1004 and a front door 1006 for loading coal into the chamber. Other configurations of a batch-process apparatus can exist in accordance with the invention.

IV. Apparatus - Embodiment B

An embodiment of a pilot plant is illustrated in FIG. 16. The plant features a bucket elevator feed 1102 coupled with a bucket elevator 1104 for transporting raw coal to the feed tank 1106. The feed tank 1106 is mounted over a shuttle valve 1110, hopper 1112 and hopper valve 1114. When coal flows from the feed tank 1106 down through the hopper valve 1114, the coal is dumped into a transfer auger 1116, which transports the coal through the microwave processing chamber 1118. Upon exiting the microwave processing chamber 1118, the coal flows through a coal receiver 1120 and valve 1122 into storage receptacles 1124.

The process chamber 1118 is also fitted with drains 1126, which feed into a vent line 1128. The vent line 1128 leads to a sulfur trap 1130. Another line 1132 directs the flow from the sulfur trap 1130 to the condenser 1134, then to a water storage tank 1136 and finally to an exhaust fan and emission-control system 1138.

The process flow through this plant is briefly described, below.

First, the exhaust fan 1138 is started to control dust that would be generated by the dumping operation. The exhaust fan 1138 pulls air from the bucket elevator 1104 through the system and discharges the resulting clean air.

Coal is supplied in drums and is dumped using a skid-steer loader or fork truck equipped with a drum-handler/dumper into the bucket elevator feed hopper 1102. The bucket elevator 1104 transfers coal samples to the feed tank 1106 for the batch to be processed. Depending on the size of the test run, several 55-gallon drums of coal can be dump-loaded into the system.

Once the coal batch is loaded into the feed tank 1106, a nitrogen purge is started, and the feed tank 1106 is closed to isolate the processing system. The exhaust fan 1138 continues to operate through the process, including cool-down of the process system.

The amount of coal transferred to the feed tank 1106 is monitored with the load cells 1108, which also supply feed-rate information. The shuttle valve 1110 is used to control the flow from the feed tank 1106 to the raw material transfer system. To maintain coal flow at a constant rate, this valve 1110 is shuttled back-and-forth to move small amounts of coal to the rotating hopper valve 1114. The hydraulic cylinders of the shuttle valve 1110 provide enough power to move the shuttle through the coal and crush larger lumps as required.

Since the sizes of the shuttle valve 1110 and hopper valves 1114 are designed to prevent overfilling the hopper 1112, the hopper 1112 could rotate continuously and thereby provide a constant supply of coal to the transfer auger 1116. The transfer auger 1116 acts to level the rate that coal is supplied to the microwave processing chamber 1118.

5 The process control and feedback systems and conveyor are designed to ensure that the coals receive the required irradiation dose on average for their dwell times in the processing chamber. The rates of movement for each of the supply units (shuttle valve 1110, hopper valve 1114, and transfer auger 1116) are independently controlled to provide a constant feed rate of coal to the material transfer system in the microwave processing
10 chamber 1118.

Before it reaches the exit end of the chamber 1118, the processed coal enters an area (not shown) where it is allowed to further emit and cool before it is removed, so as to help control odors and collect other emissions from the processed coal. After the product has cooled, the nitrogen purge is stopped, but operation of the exhaust fan 1138 is continued to
15 capture dust produced during transfer of the processed coal to drums. A hydraulic valve 1122 is used to aid transfer of the processed coal into drums 1124. After all of the coal has been processed, cooled, and transferred to drums 1124, the exhaust fan 1138 is stopped.

During the processing operation, any volatile materials (water, sulfur, hydrocarbons, mercury, and other volatiles) are removed from the microwave processing chamber 1118.
20 Water and other fluids drain from the chamber's "over-arched" walls are captured in the sulfur trap 1130. The volatile materials (water and hydrocarbons) are then pulled from the sulfur trap 1130 through the condenser 1134 and fall into the water storage tank 1136. Checks for mercury will be made before the material is released.

Residual volatiles are pulled into a filter to remove particulates and a carbon bed to
25 remove organics, mercury, and odors before the nitrogen is vented. The filter and carbon bed are located in the exhaust fan and emission control 1138. The carbon beds will be recycled or disposed of as hazardous waste.

V. Processed-Coal Properties

The variability in raw-coal properties is countered by constant monitoring and
30 appropriate feedback adjustments germane to the process systems described herein to ensure the production of a solid fuel with uniform properties. Some coal-fired boilers are limited as to their maximum temperatures. In such cases, moisture and ash reduction are targeted and

controlled so as to obtain the optimum BTU/lb without exceeding the maximum BTU/lb and associated maximum temperatures for the boiler(s) in question.

A new family of solid-fuel designer coals not found in nature can be produced via these methods and apparatus. These processed coals can be characterized by one or more of the following:

- moisture content reduced to any desired level in any rank of coal down to 1% or less;
- BTU/lb increased in any rank of coal to any level up to *at least* the level it would have if free of moisture (the ash content and total-sulfur content are also reduced, these reductions contributing to a further increase in BTU/lb);
- ash content reduced in any rank of coal, reductions ranging from approximately 10% to more than 65% (see the example shown in Tables 1 and 2, below); and
- each and every form of sulfur reduced, with total sulfur reduced by 50% to 75% and, for some coals, even more.

A "new fuel" includes any of these processed coals having a property or properties contained in any of the seven property ranges for each coal type given below.

Bituminous Coals:

U.S. Coal:

		<u>typical raw to best</u>
	BTU/lb	12537 to 14301
20	%Moisture	3.39 down to 0.44
	%Ash	10.94 down to 2.65
	%Total S	3.73 down to 1.21
	%Pyrite	1.88 down to 0.32
	%Sulfate	0.14 down to 0.01
25	%Organic S	1.73 down to 0.62

International Coal (ref. Tables 1 and 2, below):

		<u>typical raw to best</u>
	BTU/lb	12737 to 14537
	%Moisture	2.00 down to 0.83
30	%Ash	10.29 down to 2.24

%Total S	3.94 down to 1.84
%Pyrite	0.88 down to 0.11
%Sulfate	0.13 down to 0.01
%Organic S	2.94 down to 1.65

5 **Lignites:**

U.S. Lignite:

	<u>typical raw to best</u>
	BTU/lb 7266 to 11550
	%Moisture 38.27 down to 3.73
10	%Ash 7.29 down to 5.22
	%Total S 2.18 down to 1.13
	%Pyrite 0.68 down to 0.01
	%Sulfate 0.02 down to 0.01
	%Organic S 1.48 down to 1.12

15 **International Lignite:**

	<u>typical raw to best</u>
	BTU/lb 8195 to 11729
	%Moisture 25.58 down to 5.67
	%Ash 10.68 down to 6.76
20	%Total S 5.86 down to 1.78
	%Pyrite 2.60 down to 0.23
	%Sulfate 0.45 down to 0.07
	%Organic S 2.81 down to 1.31

25 Similar claims can be made for other coals and coal classes processed by the methods and apparatus of this disclosure, and additional process test results will make it possible to identify and create such new fuels for any rank or class of coal. The end result will be a matrix of all coal ranks and classes and all "new fuels" able to be obtained from processing by the invention.

VI Experimental Results

30 Coals with the above-outlined properties have been produced via the experiments described below. By comparing the properties of raw and processed coals of the same rank and class and from the same sample batch, we are able to determine the amount of

enhancement in each of the seven fuel properties due to processing by these methods and apparatus. More specifically, and by example, presented below are third-party (*i.e.*, Standard Laboratories) test results on each of several raw and processed coal sample groups of bituminous coals and lignites. For raw coals, use is made of average or "typical" properties.

5 Since the processed coal results given here were obtained as part of our program to test the effects of varying the process parameters, they do not demonstrate the full scope of the invention. Said differently, one can expect that controlled processing so as to obtain targeted or optimum properties will result in properties that are better than those obtained during evaluative processing. For this reason, use is made of the "best" processed values shown
10 here for each processed fuel property; and, for demonstration purposes, those values are compared with the "typical" values for the raw, unprocessed coal.

Three different sets of coals, raw and processed, have been processed to illustrate how the process methodology can reduce moisture, can increase the BTU/lb, and can decrease ash and all forms of sulfur. All of these samples were chosen at random from large sample
15 batches, and all of these results are from tests conducted at Standard Laboratories of South Charleston, West Virginia.

In Tables 1 and 2 below, respectively, the properties of raw international coal are juxtaposed with those of coal from the same location processed via electromagnetic-radiation methods, described above.

20 Properties in this raw sample international-coal batch were consistent in every category, except for sample # 20731110. The larger reduction in ash for the processed international coals results in a higher BTU/lb than that for the processed U.S. coals. As in the raws, one sample (*i.e.*, sample # 20925107) had significantly different properties and, in this case, the highest sulfur for each form of sulfur. Note, however, that the higher sulfur contents
25 had no effect whatsoever on BTU/lb, which is determined primarily by moisture content and ash content. The samples generally had a small variance in properties. These coals were also processed by similar but not identical means (parameters and times).

Table 1:

International Coal, Raw:

SL #	BTU/lb	BTU/lb	BTU/lb	Moisture	<u>Sulfur Content, Dry Basis (%)</u>				
	As Rec.	Dry Basis	M-A Free	(%)	Ash (%)	Total	Pyrite	Sulfate	Organic
20221113	12565	12846	14482	2.19	11.30	4.23	0.85	0.15	3.23
20221114	12556	12810	14417	1.99	11.15	4.16	0.78	0.14	3.24

20221115	12818	13080	14553	2.00	10.12	4.22	0.95	0.12	3.15
20221116	12182	12428	14415	1.98	13.78	4.31	1.02	0.14	3.15
20221117	12711	12970	14475	2.00	10.40	4.12	0.81	0.12	3.19
20221118	12627	12886	14562	2.01	11.51	4.32	0.92	0.13	3.27
20731110	14074	14334	14895	1.82	3.77	2.19	0.41	0.08	1.70
20731111	12361	13120	14624	1.97	10.29	3.97	1.29	0.13	2.55
Average	12736.75	13059	14553	2.00	10.29	3.94	0.88	0.13	2.94

Table 2:

International Coal, Processed:

SL #	BTU/lb	BTU/lb	BTU/lb	Moisture	Sulfur Content, Dry Basis (%)				
	As Rec.	Dry Basis	M-A Free	(%)	Ash (%)	Total	Pyrite	Sulfate	Organic
20731112	14537	14659	14995	0.83	2.24	1.86	0.21	<0.01	1.65
20731113	14104	14303	14673	1.40	2.52	1.84	0.11	0.01	1.72
20731114	13981	14267	14927	2.01	4.42	2.20	0.39	0.07	1.74
20731115	14064	14185	14790	0.85	4.09	2.11	0.33	0.05	1.73
20925107	13888	14090	14738	1.44	4.39	3.10	0.84	0.27	1.99
20925108	13805	14132	14766	2.31	4.29	1.93	0.21	0.02	1.70
20925109	14309	14479	14926	1.17	3.00	1.93	0.25	0.03	1.65
Average	14098	14302	14831	1.43	3.56	2.14	0.33	0.08	1.74
Difference	1362	1243	278	(0.57)	(6.73)	(1.80)	(0.54)	(0.05)	(1.20)

International Coal Processing Detail

Table 2 lists Standard Laboratories (SL) test results for processed coals. These initial process tests were used to determine characteristic responses of these coals to process parameters. A small kitchen-sized electromagnetic-radiation chamber was used with low electromagnetic power (1000 watts and below) and relatively small samples (two to five pounds). Every one of our laboratory first process tests on a "new" coal was conducted in this manner.

In the initial processing, generally, coals of different sizes, coloring, etc., were selected to examine their separate responses and effects, if any, on their post-processing properties. In the tests delineated here, each sample batch was also divided into sections, some piled high and some in a flat layer, and the sections were placed on or in different holding vessels, made, e.g., of Pyrex™; alternatively, the vessels can be high-temperature ceramic plates, aluminized pans, or formed of other high-temperature materials. The locations of the vessels were varied in the chamber; also varied was the applied

electromagnetic power and duty cycles (power on and off times). Separate testing was performed on fines, medium-to-large chunks, and some well-mixed samples, etc., to examine each of their separate and combined effects. In the following, each and every step in the process sequence for the first four Table 2 samples is listed together with comments and observations.

Samples 20731112 and 20731113 (reference Table 2)

These samples consisted entirely of small to medium chunks prior to processing. Transparent tubing was connected to a chamber exit port to carry away liquids and gases, but no forced airflow was used in processing these samples, only chamber atmosphere temperature/pressure buildup, which forced by-products out of the chamber.

The process sequence for the original sample is outlined as follows:

Table 3:

Power Level	Time (minutes)	Notes
5	1	Unless otherwise noted, the power is turned off for 10 seconds after each time listed, except for chamber-open periods.
8	2	Yellow vapor seen in chamber at 1 min but no moisture in chamber or in tubing. Thick vapor cloud seen at 1 min 40 sec. Too much heat; shut down to reset power to lower level.
5	1	Yellow-tinted vapor seen at 30 sec; no moisture evident.
5	2	Tubing filling with yellow-tinted fumes.
5	2	Heavy fume flow.
6	1	
6	1	
6	2	Some condensation forming in tubing.
6	2	Very heavy fuming, with strong yellow color and sulfur smell.
6	2	Brown tint to the residue collecting on the under side of the exit tubing.
6	2	
6	2	Cracking sound heard in chamber and darker yellow fumes seen flowing in the tubing.
6	2	Open chamber to observe. Coals hot and chamber full of fumes.
6	2	Fumes pouring out of the chamber. Stop at 1 min 20 sec. No moisture in chamber but dark brown colored residue throughout chamber, probably the start of hydrocarbon release. End processing tests.

(1) Power level (1) in the process chamber system ranges from 1 to 10, 10 corresponding to the highest power level available (approximately 1000 watts) but with levels not precisely linear, especially at the higher levels.

The above process sequence was applied to a single sample, which was divided into two equal-sized parts ('1112 and '1113) before being sent to Standard Laboratories for testing. SL test data are given in Table 2, which documents the fact that the percentages of ash and sulfur were both reduced by more than 50% in this test set. The differences in properties of the two processed sample portions are well within acceptable limits, especially since sample placement and other conditions were varied, as noted above, and this was a first and defining test of this coal batch. The total exposure time of 24 minutes relates to the sample size, power levels applied, and the observed amounts and coloring of the fumes during and following processing.

Samples 20731114 and 20731115 consisted entirely of tiny pieces to fine granules, which were placed on two ceramic plates from 1/2 to 3/4 inches high, a flat plate near the wall closest to the magnetron and a rounded plate near the opposite wall.

Table 4:

Power Level	Time (minutes)	Notes
2	1	Power levels intentionally set lower than the above test set.
2	1	
2	2	
2	2	
2	2	
3	1	
3	2	Slight cloudiness observed in tubing.
3	2	
4	2	
4	2	
4	2	Some condensation now visible in tubing. Stopped to open chamber at 24 minutes accumulated exposure (to compare with the above tests using higher power levels). No moisture and no fumes present, chamber air temperature and coat surfaces warm but not hot. Observed appearance and fuming amount definitely depend on coal chunk sizes, placement and distribution, duty cycle and time. Fumes start to exit from the tubing.
5	1	

5	1	More fumes observed.
5	1	Top cover of chamber hot to the touch; reset to lower power.
4	1	
4	2	
4	2	Stop processing to observe. Chamber interior filled with fumes, but no moisture on chamber walls and no hydrocarbon coloring and coals only warm and not hot.
4	2	Fumes observed after 1 min 40 sec.
4	2	Fumes throughout chamber and tubing.
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Still no browning on tubing.
4	2	Stop to open chamber. Some fuming but no browning.
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Stop to open chamber. Removed a tiny piece that appeared to have overheated.
4	2	
5	1	Fuming resumed quickly.
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	Stop to open chamber. Full of yellow fumes.
5	1	No fumes.
5	1	Fuming resumes.
5	9	consecutive 1 minutes on, 10 sec off segments, with chamber opened after the 9th segment.
5	2	Heavy fuming. Stop to remove round plate contents after 79 minutes accumulated exposure (sample 1114) and continue with flat plate (sample 1115) alone.
4	2	Yellow fuming resumes.
4	2	Stop to open chamber. Small piece closest to magnetron fuming heavily.
4	2	Stop again and move plate toward center of chamber.
4	2	

4	2	Cracking noise from ceramic plate, which overheated and cracked.
5	1	
5	2	No fuming observed in or from the tubing.
7	1	
7	1	Fuming from the tubing.
7	1	Continued fuming.
7	1	Heavy fuming in chamber and tubing. More cracking noises. Stopped to open chamber. Multiple cracks in ceramic plate. Stopped test run after 96 min accumulated exposure for sample 1115.

Most often, fracturing occurs first in processing, followed by release of moisture, ash, and sulfur in that order. For this international coal, sulfur release appeared to precede that of moisture, but the low percentage of moisture in this coal could have masked small amounts of moisture that may have been released first.

5 Comparison of properties:

Samples '1112 and '1113 evidence significantly larger reductions in percent ash and total sulfur than those obtained for samples '1114 and '1115. The improved reduction in ash and sulfur is directly attributable to the use of higher power levels (5 to 6, producing approximately 600 to 700 watts) and therefore shorter exposure times for '1112 and '1113.

- 10 Reference the lower power used (mostly 4's and 5's) with '1114 and '1115 and the significantly longer exposure times that still did not achieve reductions close to those for the first two samples listed. All such test measurements have shown that every coal is highly sensitive to applied power; *i.e.*, each has a power threshold at which significant and sometimes sudden changes are observed. After these thresholds are identified for coal,
- 15 combinations of processing parameters can then be tested to identify parameter combinations that will achieve those thresholds. The process for that coal can then be governed to target those thresholds by utilizing the identified parameter combinations.

Variation of power and time parameters:

- 20 The tests outlined below were performed on Texas lignites. The intent with these tests was to show that it is possible to fine-tune the amount of moisture reduction and resulting BTU/lb by using several combinations of applied electromagnetic power and processing dwell time in the chamber.

The processed value sought for BTU/lb was intentionally started above the high 7000's goal and was brought down to just below 8000 BTU/lb in controlled steps by small

variations in power and time, starting with 8381 BTU/lb and 26.11% moisture and ending up with 7926 BTU/lb and 23.21% moisture. As seen in Table 5, below, the power/time parameters of 5/70 set the bar too high, with a BTU/lb decrease able to be obtained by using the same power but processing for an additional 50 seconds (recall that each line of data in the Table corresponds to a different sample from the same batch (A) lignite). Since time is always of the essence in processing, the next adjustment increased power and decreased time, with the expected result that an additional decrease was obtained in BTU/lb. The following two samples were processed with the same power/time settings, while decreasing the time still further and making the appropriate "balanced" increase in power applied. The differences in the results of these two samples (30728125 and 30728126) are well within acceptable ranges when processing different samples and further shows the internal consistency of the process methodology. Finally, the same forward power level, (see below) was used on the last sample, but processing was extended an additional five seconds, whereby the targeted BTU/lb was obtained.

Table 5 (lignite, E):

SL # Representative E (Processed)	Btu/lb As Rec.	% Change	Moisture	% Change	Power (kW)	Time Processed (sec.)
Raws Avg	7294		36.35			
30728122.00	8381	14.9	26.11	(28.17)	5	70
30728123.00	8278	13.49	22.42	(38.32)	5	120
30728124.00	8151	11.75	22.86	(37.11)	10	45
30728125.00	8074	10.69	24.27	(33.23)	20	10
30728126.00	8016	9.9	25.9	(28.75)	20	10
30728127.00	7926	8.66	23.21	(36.15)	20	15

The Table 5 examples are given to show how two of the principal process parameters alone can be used to target specific properties for BTU/lb and percent moisture. It is important to note that we had measured and processed these same lignite batches in our laboratory systems earlier and therefore had prior knowledge of their properties and their responses to multi-parameter electromagnetic-radiation processing. With this information, we were able to pinpoint those changes that could be expected from changes due only to power and time. A similar methodology can be used in a lab or field setting for each of the designated properties being sought prior to any coal's being processed on a commercial scale.

An example wherein a methodology similar to that used in the tests reported in Table 5 is given in the time-power comparison provided in Table 6, below. Eleven separate samples from the same batch of lignite, labeled "A," were processed with all process parameters held constant except for applied electromagnetic power and time processed. The intent for the user of this lignite was to target a reduction in percent moisture of between 8% and 12% and a corresponding increase in BTU/lb to the high 7000's. For two of the 11 processed samples, 30728111 and '119, the BTU/lb value was significantly different (lower) than the other samples, with the first sample also having the highest percent moisture. The first test set combination of 5 kW and 30 seconds was clearly too small to achieve the desired moisture reduction for that sample, which was also evident in the relatively small amount of water vapor seen exiting the process chamber during its processing. The table presents the results of using various combinations of power and time with all other combinations except one of the 20/15's providing the levels sought. Three sets of samples, '113/'114 and '115/'116 and '119/'120/'121, made use of exactly the same process parameters, including power and time. The differences in properties among the samples in each of these sets can be attributed to differences in the inherent properties of the samples themselves and not to differences due to the processing.

Table 6 (lignite, A):

SL# Representative	Btu/lb As Rec.	Btu/lb % Change	Moisture %	Moisture % Change	Power (kW)	Time Processed (sec.)
Raw Avg.	6356		36.05			
Processed:						
30728111.00	6913	8.76	32.90	(8.74)	5	30
30728112.00	7662	20.55	22.47	(27.76)	5	120
30728113.00	8307	30.70	23.16	(35.76)	5	90
30728114.00	7977	25.50	27.13	(24.74)	5	90
30728115.00	8177	28.65	24.51	(32.01)	10	45
30728116.00	8034	26.40	24.42	(32.26)	10	45
30728117.00	8189	28.84	25.08	(30.43)	20	17
30728118.00	7948	25.05	25.26	(29.93)	20	9
30728119.00	7243	13.96	21.41	(40.61)	20	15
30728120.00	7905	24.37	23.90	(33.70)	20	15
30728121.00	8121	27.77	23.54	(34.70)	20	15
Averages (all)	7861	24.89				
Avg. (less 111)	7956	24.09				

Table 7 (lignite, F):

SL #	Btu/lb As Rec.	Btu/lb % Change	Moisture	Moisture % Change	Power (kW)	Time Processed (sec)
Raws Avg	6849		32.97			
Processed:						
30728128	8517	24.35	19.88	(39.70)	10	45
30728129	8545	24.76	20.76	(37.03)	20	15
30728130	8280	20.89	18.43	(44.10)	20	15
30728131	8838	29.04	12.97	(60.66)	20	30
30728132	9854	43.88	4.74	(85.62)	5	300
30728133	10318	50.65	6.28	(80.95)	5	300
30728134	10210	49.07	7.81	(76.31)	30	15

These results indicate clearly in still another way that the capacity in the process methodology to vary process parameters can effectively be used to target a specific reduction in moisture and a resulting relatively narrow range of BTU/lb even for a coal batch (every coal batch) with samples having a distribution of sizes and properties. Further, the results show that a relatively small test set can identify the variety of power/time combinations that can be used to obtain the desired properties. Finally, with straightforward preprocessing tests one can also assess the amount of ash and sulfur in the raw coals and how a particular coal will react to the process, the result being that the system can, if desired, improve the overall combustion properties of coal by more than just reducing moisture.

Any attempt to conduct meaningful laboratory tests requires consideration of sample size, chamber size and configuration, available electromagnetic power and its frequency or frequencies, the ability to vary power and duty cycle, stability and reproducibility of the laboratory system, and at least an estimate of the actual electromagnetic power incident on the coal surface. Laboratory tests, such as those shown here, can provide the basic pre-processing coal-response input data required to custom-design an overall process system capable of targeting and obtaining specific coal properties.

Table 8, below, provides a list of moisture, sulfur, ash, and Emissions Index reductions, as well as increases in BTU/lb for a wide variety of coals processed by methods of this disclosure.

Table 8:

Sample	Raws, %M	Proc, %M	% M Redn	% S Redn	% Ash Redn	Raws, BTU/lb	Proc, BTU/lb	% Incr BTU/lb	% Redn, EI
--------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------------	-----------------	-----------------	------------------	---------------

	IL1	47.87	44.32	07	ND	ND	5851	6269	07	ND
	IL2	52.92	46.94	11	ND	ND	5363	5949	11	ND
	PRB1	26.10	22.46	14	NA	14	8960	9608	07	05
	TL1	36.05	29.22	19	ND	ND	6356	7788	22	ND
5	WY1	21.65	17.05	21	05	06	10251	11345	11	10
	WY2	20.16	15.66	22	10	18	10232	11431	12	16
	IB1	2.00	1.43	29	46	67	12737	14096	11	51
	TL2	36.05	24.89	31	ND	ND	6356	7861	24	ND
	WY3	20.16	11.45	33	10	13	10232	11537	13	24
10	IB2	2.15	1.10	48	37	61	12969	14326	09	05
	TL3	36.35	17.44	52	NC	NA	7294	7722	06	05
	PA	3.36	1.35	60	21	08	13792	13991	01	21
	PRB2	26.10	8.69	67	12	NA	8960	11129	24	28
	IL3	25.58	8.16	68	68	25	8195	11282	38	76
15	WY4	20.16	5.81	71	07	13	10232	12254	20	22
	OB	3.40	0.89	74	47	26	12537	13442	07	51
	TL4	32.97	6.28	81	12	NA	6849	10127	48	42
	TL5	38.30	4.99	87	34	09	7266	11040	52	57
	PRB3	26.10	2.86	89	12	10	8960	11916	33	28
20	ILPC	6.49	0.69	89	02	NC	14365	15196	06	07
	OK	3.96	0.42	89	04	04	13871	14377	14	07
	AL	14.89	1.34	91	NC	20	12247	14112	15	14

Identification of abbreviations in Table 8:

25	M, S	Moisture, Sulfur
	Proc	Processed
	Redn	Reduction
	Inc	Increased
	EI	Emissions Index; LbSO ₂ /MMBTU
30	ND	No Data or Insufficient Data
	NA	Not Applicable
	NC	No Appreciable Change
	IL1	India Neyveli (SW) Lignite
	IL2	India Neyveli (SW) Lignite
35	IL3	India Gujarat (NW) Lignite
	IB	India Assam (NE) Bituminous
	WY	Wyoming Sub-Bituminous
	PA	Pennsylvania (NW) Bituminous
	PRB	Wyoming Powder River Basin Sub-Bituminous
40	OB	Ohio (SE) Bituminous
	TL	East Texas Lignite
	ILPC	Illinois Green Pet Coke

OK Oklahoma Bituminous
AL Alabama Soft Bituminous

In describing embodiments of the invention, specific terminology is used for the sake of clarity. For purposes of description, each specific term is intended to at least include all technical and functional equivalents that operate in a similar manner to accomplish a similar purpose. For example, references herein to microwaves should also be interpreted to include somewhat lower frequencies that may technically be characterized as radiowaves, provided those frequencies similarly affect the solid-fuel samples. Likewise, references are generally made to coal, though these methods also apply to other solid organic fuels. Additionally, in some instances where a particular embodiment of the invention includes a plurality of system elements or method steps, those elements or steps may be replaced with a single element or step; likewise, a single element or step may be replaced with a plurality of elements or steps that serve the same purpose. Moreover, while this invention has been shown and described with references to particular embodiments thereof, those skilled in the art will understand that various other changes in form and details may be made therein without departing from the scope of the invention.

CLAIMS

What is claimed is:

- ✓ 1. A method for processing a raw solid-fuel batch, comprising:
- 5 receiving a raw solid-fuel batch for processing;
- measuring one or more properties selected from the following for the raw solid-fuel batch: percent moisture, BTU/lb, percent ash, percent total sulfur, percent of each of various forms of sulfur, percent volatile material, percent fixed carbon, Hardgrove grindability index, trace minerals amounts by weight, and response of the fuel and its individual constituents to electromagnetic radiation;
- 10 determining the fuel properties desired from the solid-fuel batch after processing;
- based on the measured raw solid-fuel properties, designing a system configuration and selecting a power-level profile at a selected frequency that will result in the processed solid-fuel batch having the desired fuel properties; and
- 15 processing the solid-fuel batch by exposing it to electromagnetic radiation at the selected frequency and power-level profile.
2. The method of claim 1, further comprising selecting a duration of electromagnetic-radiation exposure that will result in the solid-fuel batch having the desired fuel properties and exposing the solid-fuel batch to the electromagnetic radiation for that
- 20 duration.
3. The method of claim 1, wherein a plurality of power levels are employed in a pre-determined sequence to obtain a targeted release of different components from the solid-fuel sample.
4. The method of claim 1, wherein a plurality of the recited raw solid-fuel-batch
- 25 properties are measured and utilized in selecting the power-level profile.
5. The method of claim 1, wherein most of the recited raw solid-fuel-batch properties are measured and utilized in selecting the power-level profile.

6. The method of claim 1, wherein all of the recited raw solid-fuel-batch properties are measured and utilized in selecting the power-level profile.
7. The method of claim 1, wherein the solid fuel is coal.
8. The method of claim 7, wherein the coal is not in the form of a slurry.
- 5 9. The method of claim 7, wherein the solid fuel is crushed or screened to limit the batch to solid-fuel particles having a diameter of about 8 inches or less.
- 10 10. The method of claim 1, further comprising pre-heating the raw solid-fuel batch before exposing it to the electromagnetic radiation at the selected frequency and power-level profile, wherein the pre-heat and electromagnetic energy and duration are applied in sequence to process the solid fuel to fracture it and control the subsequent targeted release of moisture.
11. The method of claim 10, wherein the pre-heat is at a different frequency than the subsequent exposure to electromagnetic radiation.
12. The method of claim 11, wherein the pre-heat is provided by a thermal source.
- 15 13. The method of claim 10, wherein the solid fuel batch is processed in a chamber, the method comprising flowing dry air through the chamber during processing.
14. The method of claim 13, wherein the dry air is supplied at a sufficient flow rate to carry away the moisture-laden gas and assist in preventing flaring in the chamber.
- 20 15. The method of claim 14, wherein the dry air flow rate is determined by the chamber size and configuration and the amount of moisture to be removed from the solid fuel.
16. The method of claim 1, wherein the electromagnetic energy and duration are applied to further process the solid fuel and control the targeted release of ash.
17. The method of claim 16, wherein the solid fuel batch is processed in a chamber, the method further comprising flowing dry air through the chamber during processing.

18. The method of claim 17, wherein the dry air is supplied at a sufficient flow rate to carry away the ash-laden gas and particulate fines and assist in preventing flaring in the chamber.
19. The method of claim 18, wherein the dry air flow rate is determined by the amount of ash to be removed from the solid fuel.
20. The method of claim 1, wherein the electromagnetic energy and duration are applied to the solid fuel to fracture it and release moisture and to then further process the coal to a higher temperature for a longer period of time to obtain a targeted release of sulfur from the solid fuel.
21. The method of claim 20, wherein the higher temperature for targeted sulfur release is between 130° and 240°C.
22. The method of claim 20, wherein the solid-fuel batch is processed in a chamber, the method further comprising flowing inert gas through the chamber during processing.
23. The method of claim 22, wherein the inert gas is supplied at a sufficient flow rate to prevent flaring and combustion in the chamber.
24. The method of claim 23, wherein the flow rate is at least 15 cubic feet per hour per cubic foot of chamber volume.
25. The method of claim 22, further comprising supplying hydrogen during the sulfur-reduction phase of the process.
26. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing can increase the BTU/pound of the solid fuel by at least 1,000 BTU/pound.
27. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing can selectively reduce the percent moisture in the solid fuel from at least about one percent up to ninety-eight percent.

28. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing achieves a reduction in solid fuel ash of at least about two percent up to sixty percent.
29. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing achieves a reduction in solid fuel total percent sulfur of at least about two percent up to seventy percent.
30. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing reduces the percent pyrite in solid fuels by at least about three percent up to ninety-five percent.
31. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing reduces the percent sulfate in the solid fuel by at least about five percent up to ninety-five percent.
32. The method of claim 1, wherein the electromagnetic-radiation processing reduces the percent organic sulfur in the solid fuel by at least about one percent up to sixty percent.
- ✓33. A multi-element electromagnetic-radiation system for processing coal comprising:
a variable-speed conveyor;
a preheating system, the variable-speed conveyor passing through the preheating system;
an electromagnetic-radiation-generating system including a source of electromagnetic energy and a processing chamber into which the electromagnetic energy is directed, the variable-speed conveyor passing through the processing chamber;
a controller comprising a computer processor coupled with a computer-readable medium storing software code for generating commands to control the generation of electromagnetic energy;
a measurement and feedback system configured to measure changes in the properties of the solid fuel during processing by the electromagnetic energy in the electromagnetic-radiation-generating system and to communicate the measurements to the controller; and

an airflow and by-products handling system configured to flow gas through the processing chamber and to capture and store by-products released in the processing chamber as a consequence of electromagnetic-radiation exposure.

- 5 34. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide 15 kW or more of electromagnetic energy per generator module at a frequency of 928 MHz or lower for each generator required.
35. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide at least 75 kW of electromagnetic energy per generator module at a frequency of 902 MHz or above for each generator required.
- 10 36. The system of claim 33, wherein the source of electromagnetic energy is suited for commercial processing throughputs and comprises multiple magnetrons and generators for the magnetrons.
- 15 37. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a temperature sensor for monitoring the surface temperatures of solid fuel pieces on the conveyor.
38. The system of claim 37, wherein the measurement and feedback system and the controller are configured to monitor the surface temperatures of solid fuels in the chamber to ensure that their temperatures do not reach the ignition temperature of the solid fuel being processed.
- 20 39. The system of claim 37, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured solid fuel surface temperatures:
the power of the electromagnetic radiation;
the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
airflow.
- 25 40. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a moisture analyzer configured to measure percent moisture of the solid fuels during processing.

41. The system of claim 40, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured percent moisture of the solid fuel:
the power of the electromagnetic radiation;
the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
airflow
42. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a sulfur analyzer configured to measure percent sulfur of the solid fuels during processing.
43. The system of claim 42, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured percent sulfur of the solid fuel:
the power of the electromagnetic radiation;
the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
airflow.
44. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes an ash analyzer configured to measure percent ash of the solid fuels during processing.
45. The system of claim 44, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured solid fuel percent ash:
the power of the electromagnetic radiation;
the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
airflow.
46. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a trace mineral analyzer configured to measure parts per million (PPM) amounts in the solid fuels during processing.
47. A method for processing coal and other solid fuels comprising generating electromagnetic energy for pre-heating and for microwave or radio frequency processing at a frequency of 928 MHz or lower and exposing solid fuels to the energy at those frequencies.

39

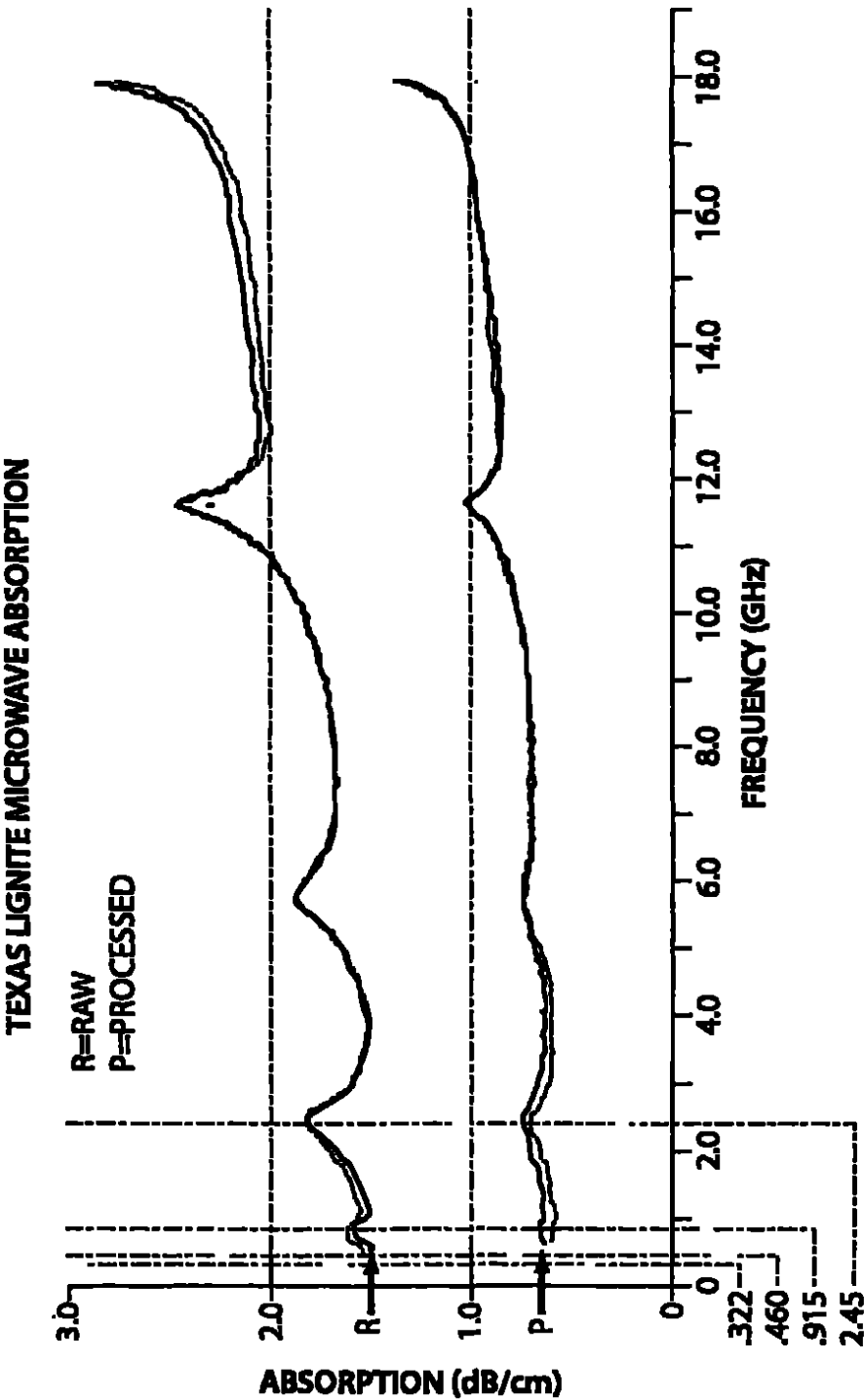


Fig. 1

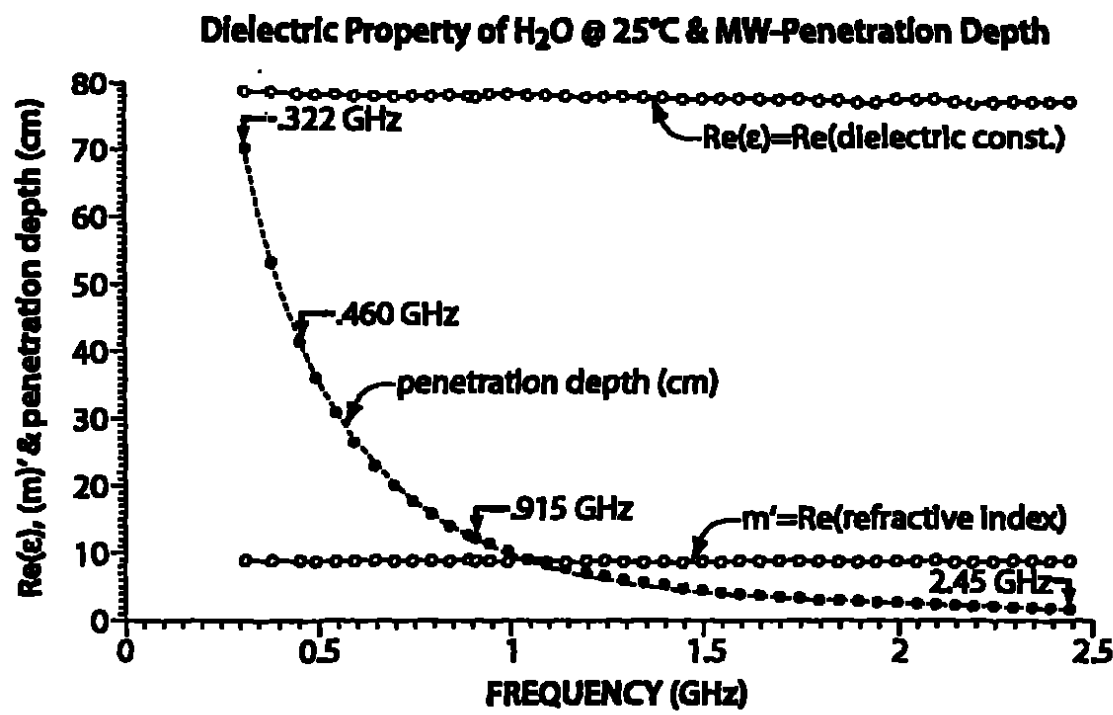


Fig. 2

26

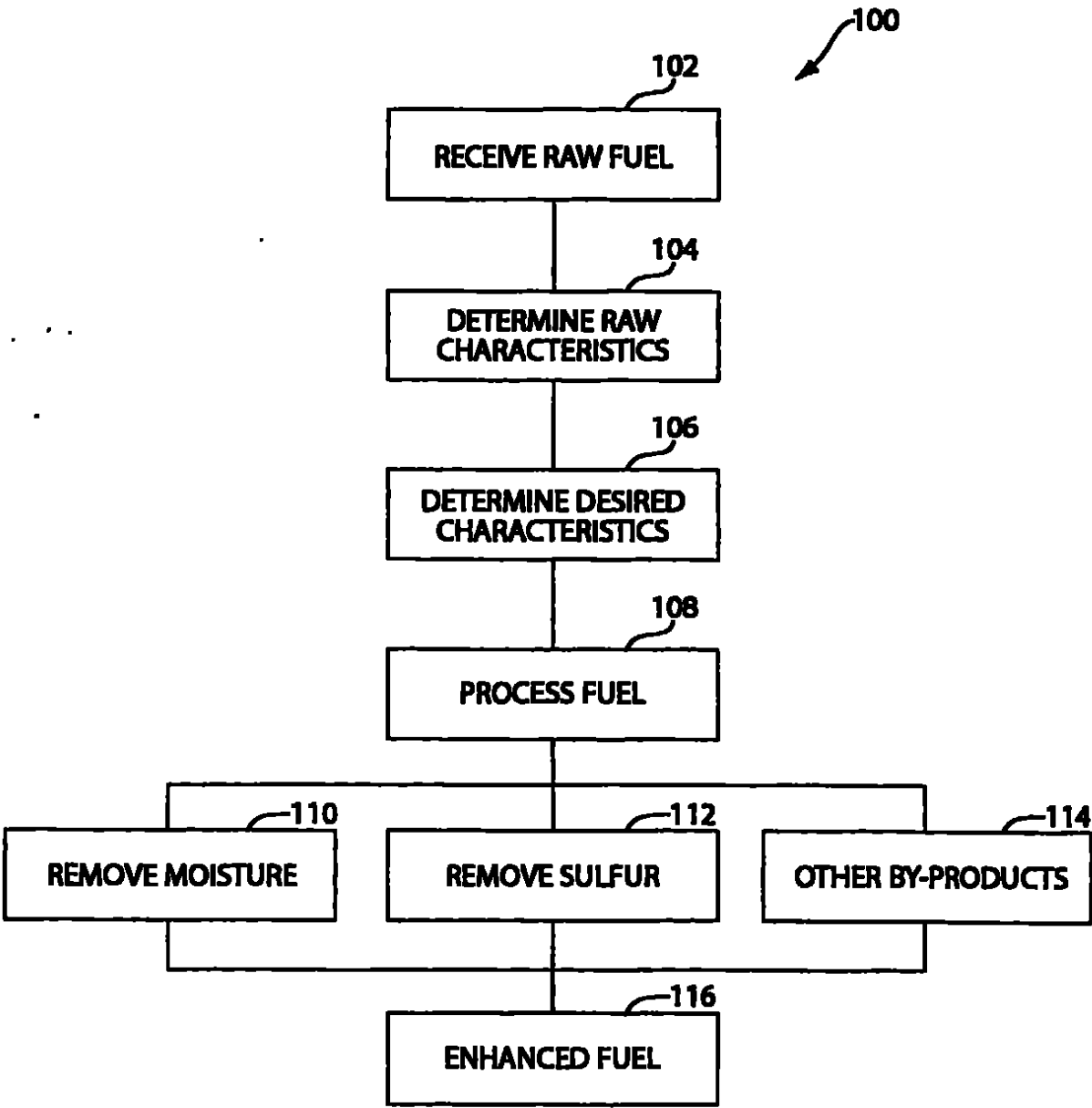


Fig. 3

4/11

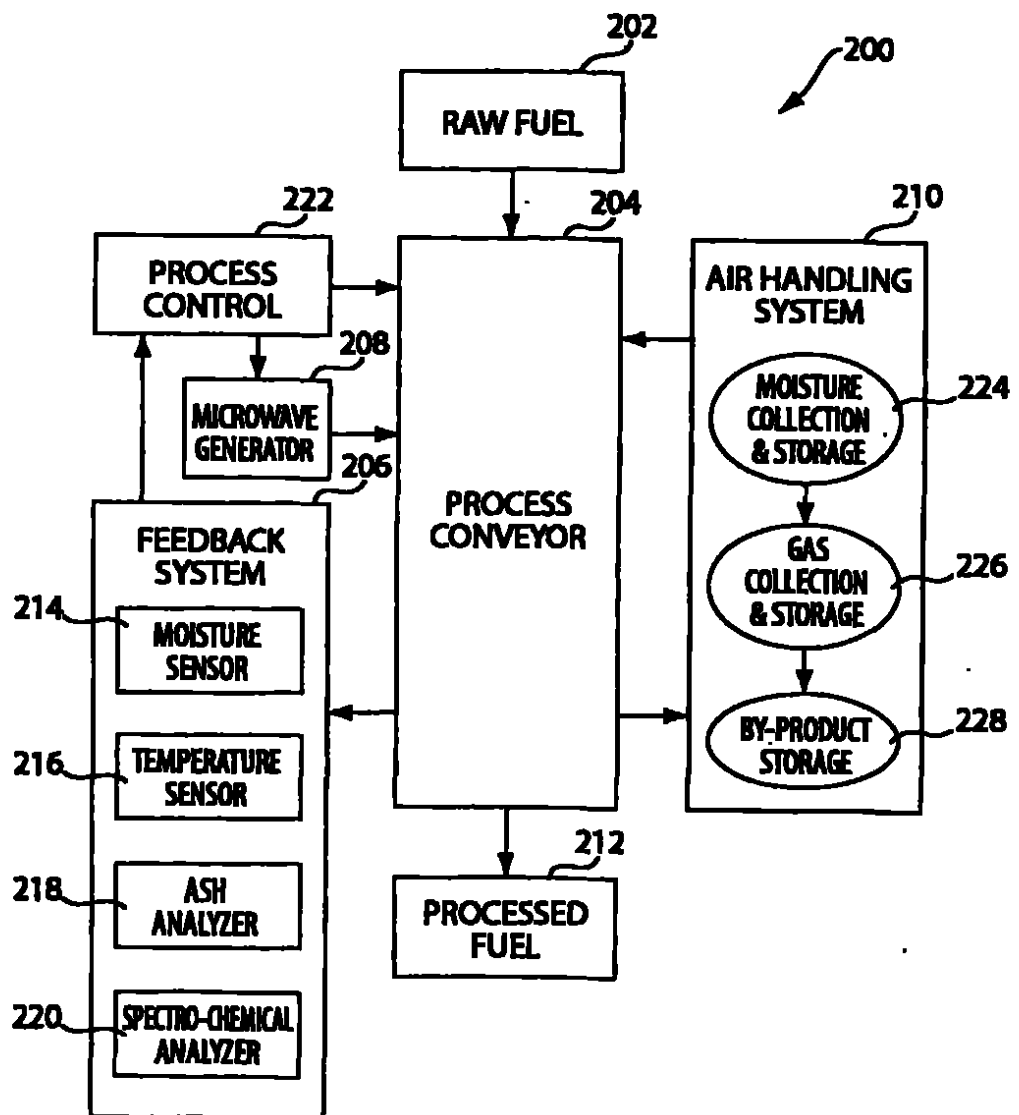
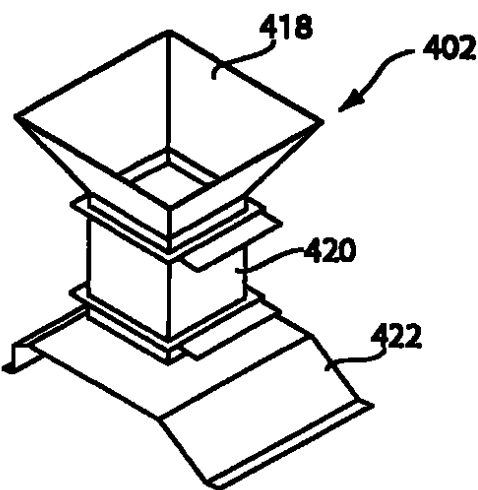
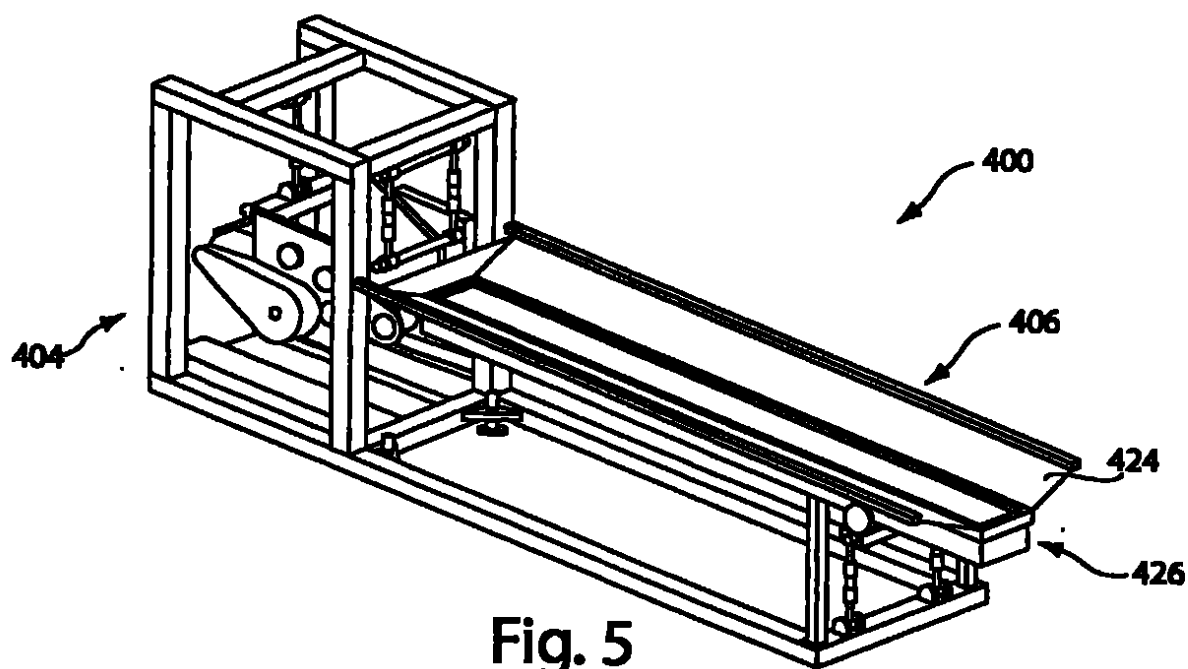


Fig. 4



6/11

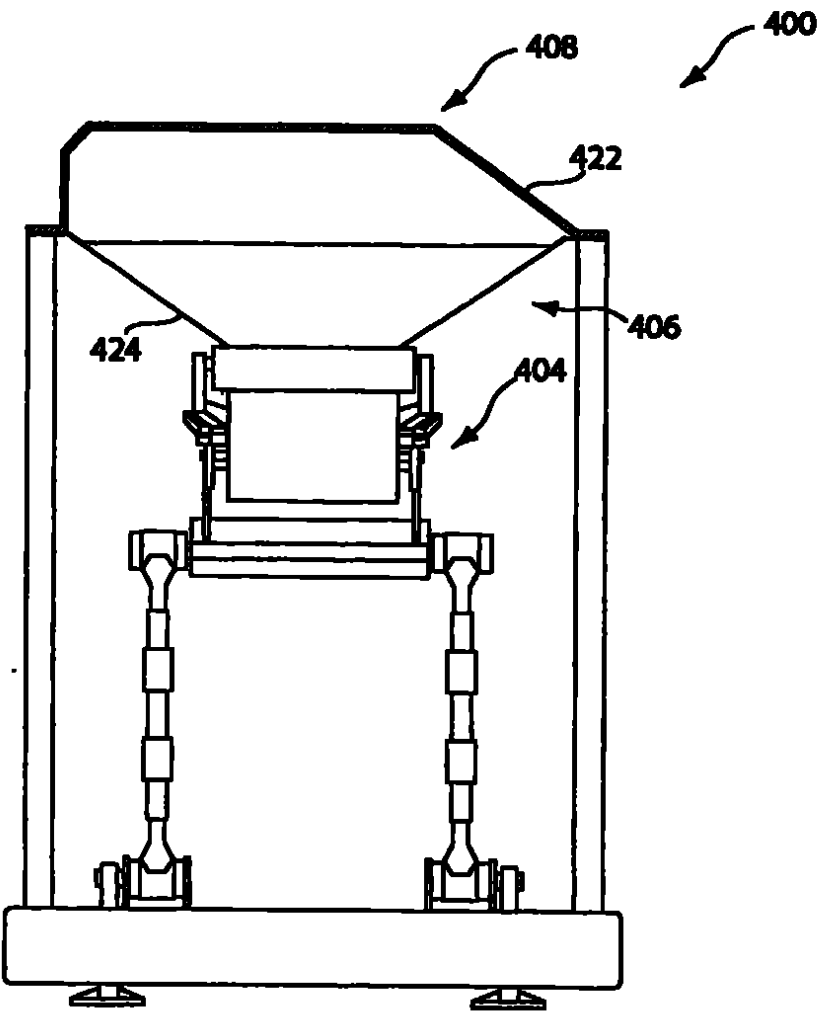


Fig. 7

7/11

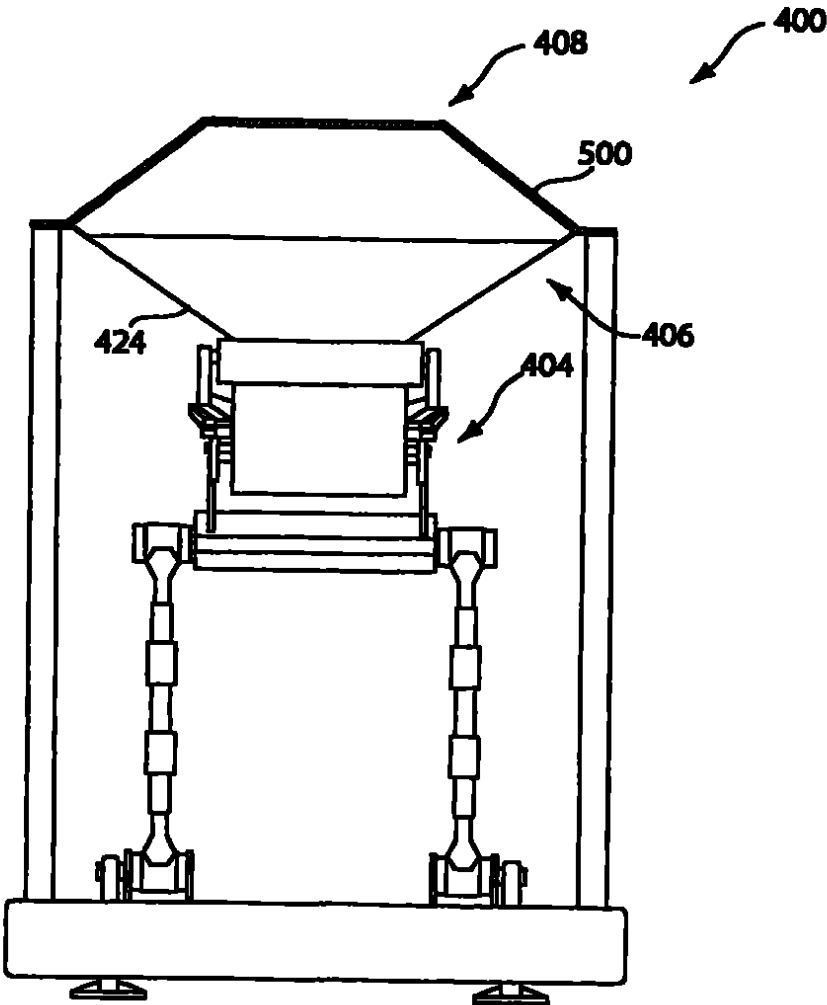


Fig. 8

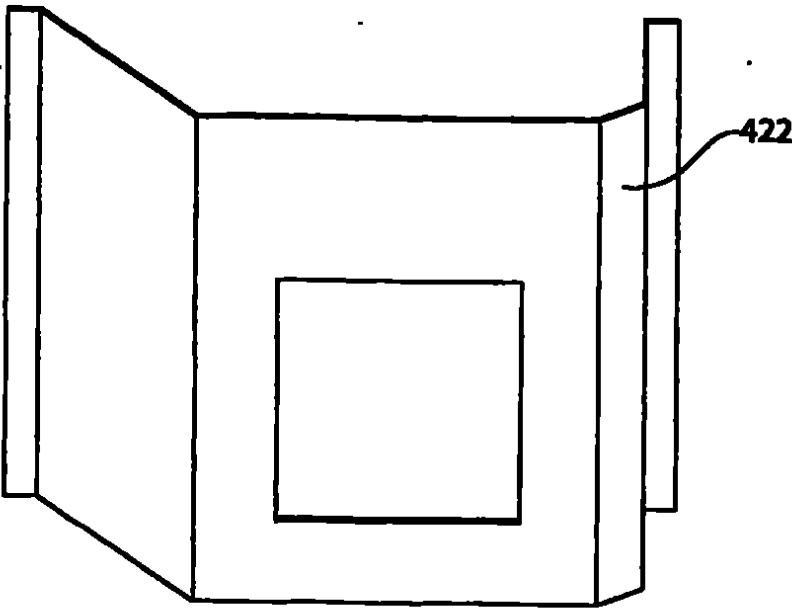


Fig. 9

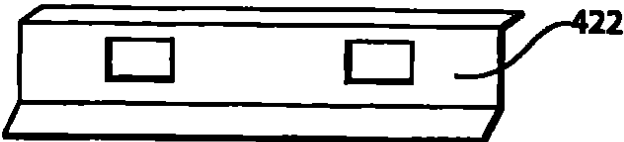


Fig. 10

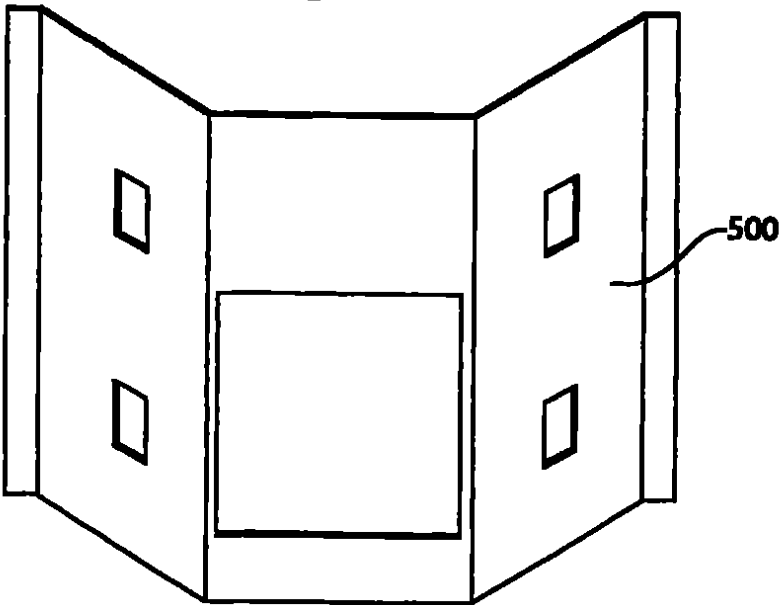


Fig. 11



Fig. 12

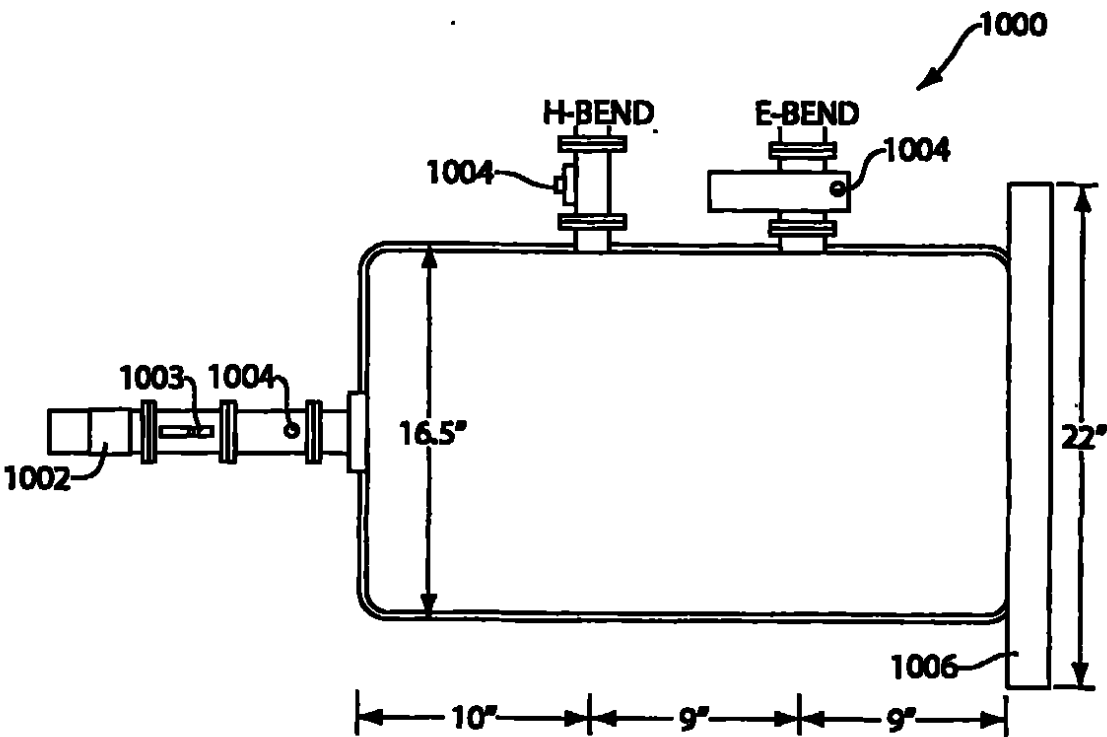


Fig. 13

10/11

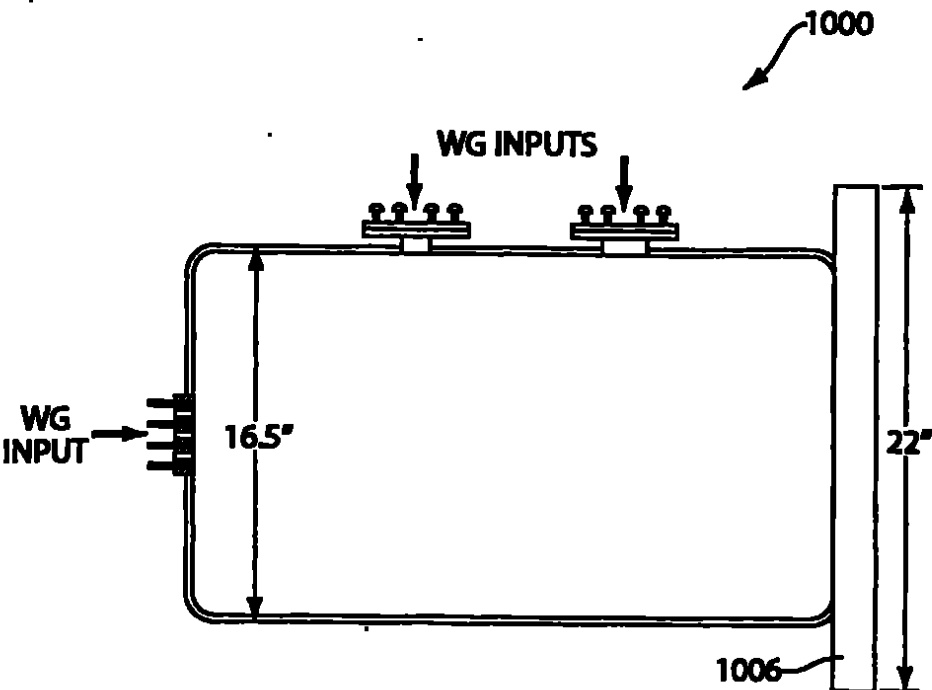


Fig. 14

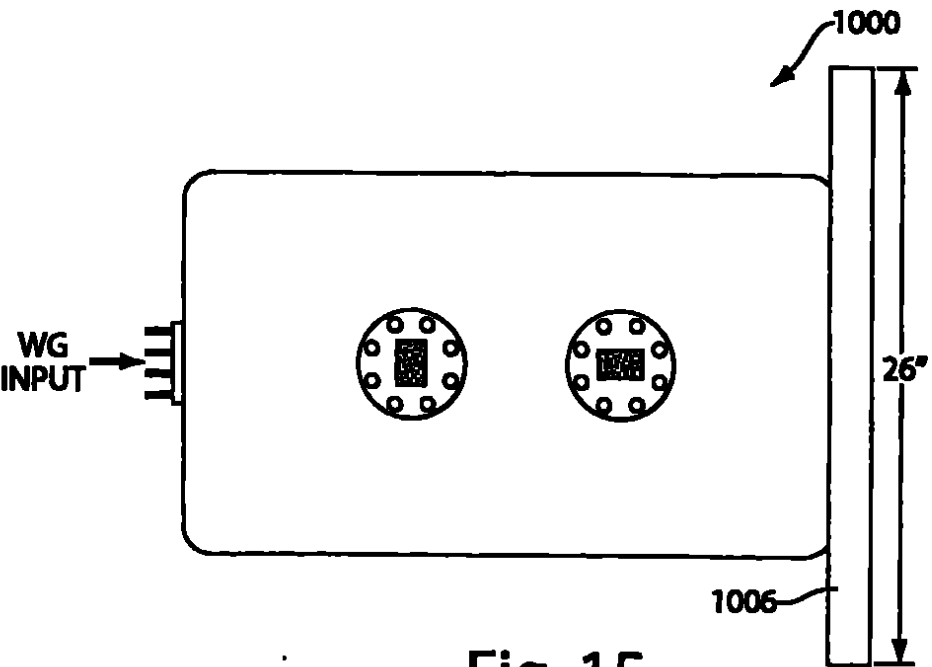


Fig. 15

11/11

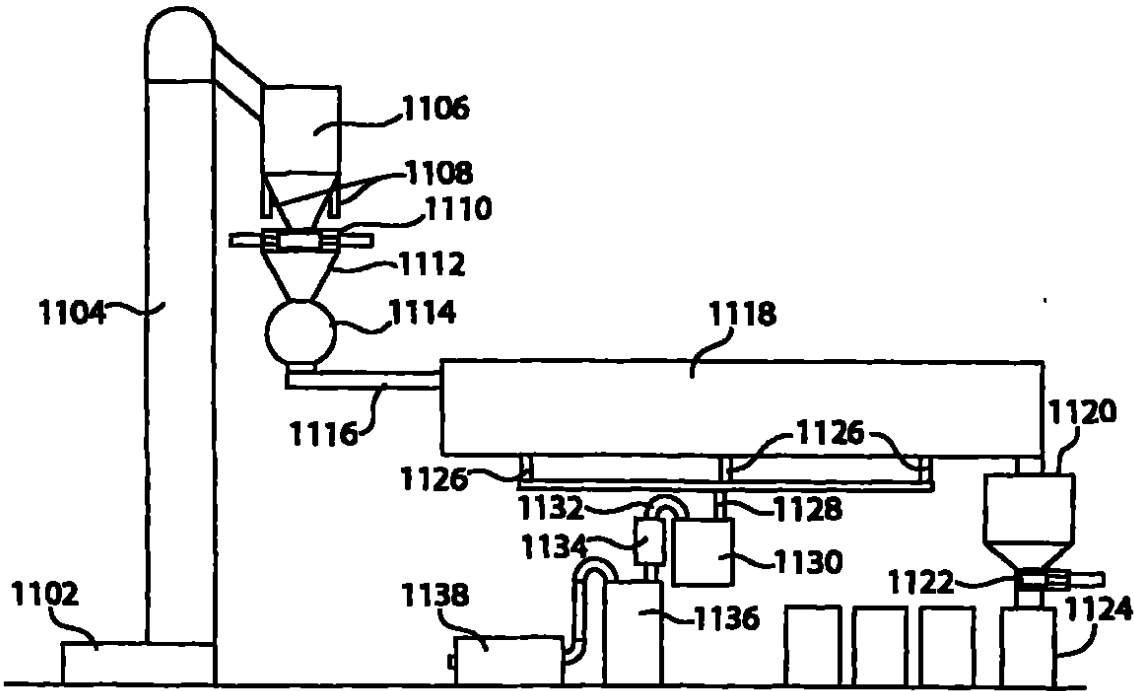


Fig. 16

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 C10L9/00 C10L9/08 C10B57/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHEDMinimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 C10L C10B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97/07185 A (SPEAR, CHARLES, E) 27 February 1997 (1997-02-27) page 5, lines 1-6; claims page 7, lines 13-22 page 8, lines 19-30 page 11, lines 16-18	1-47
A	US 3 954 674 A (REIS ET AL) 4 May 1976 (1976-05-04) abstract; claims	1-46
A	DE 32 34 315 A1 (KLOECKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 22 March 1984 (1984-03-22) abstract; claims	1-46
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C:☒ Patent family members are listed in annex.*** Special categories of cited documents:**

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2005

Date of mailing of the international search report

25/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentkan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Bertin-van Bonnel; S

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MAHADEVAN V ET AL: "PRETREATMENT OF COAL POTENTIALITY OF MICROWAVE AND GAMMA RAY PRETREATMENTS IN THE DESULPHURIZATION, DEMINERALIZATION AND COMMINUTION" ERDOEL ERDGAS KOHLE, URBAN VERLAG, DE, vol. 48, no. 1, January 1995 (1995-01), pages 33-38, XP000491274 ISSN: 0179-3187 the whole document	1-47

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2004/041786

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependant claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCTISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-46

Method and system for processing coal from various sources by means of electromagnetic radiation, comprising analysing the raw coal, determining the desired properties and accordingly designing the frequency and power-level of the radiation process.

2. claim: 47

Method for processing coal by means of electromagnetic radiation at a frequency below 928 MHz

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International

Application No

PCT/US2004/041786

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9707185	A	27-02-1997	AU 6774796 A	12-03-1997
			CA 2229130 A1	27-02-1997
			WO 9707185 A1	27-02-1997
US 3954674	A	04-05-1976	FR 2226084 A5	08-11-1974
			FR 2215386 A1	23-08-1974
			FR 2278747 A2	13-02-1976
			FR 2247957 A6	09-05-1975
DE 3234315	A1	22-03-1984	NONE	

3

**EHMETODOLOGÍA Y SISTEMAS DE UN PROCESO DE PREQUEMADO EN
SECO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DE UN COMBUSTIBLE SÓLIDO**

ANTECEDENTES

5 Más de la mitad de la electricidad consumida en
los Estados Unidos es generada actualmente por plantas de
servicios públicos que queman carbón, ineficientes. A
pesar del uso incrementado de los recursos de petróleo y
gas, las grandes reservas de carbón, de fácil y amplia
10 disponibilidad, de bajo costo, y la gran fuerza de trabajo
de la industria del carbón, aseguran que el carbón seguirá
siendo un recurso significativo para propósitos
industriales, y especialmente, para la generación mundial
de energía para el futuro previsible. Sin embargo, los
15 carbones son extremadamente diversos y heterogéneos y
generalmente contienen cantidades significativas de
humedad, ceniza, azufre e impurezas minerales, todos los
cuales disminuyen su potencial real de ser un combustible
eficiente y que no deja residuo de combustión.

20 La literatura de ciencia y tecnología, ingeniería
de procesos y patentes, está repleta de intentos fallidos
de mejorar las propiedades generales de combustión de los
combustibles sólidos. Se utilizan métodos físicos y
químicos e incluso microorganismos biológicos en la
25 limpieza y eliminación de desechos del carbón. El lavado

del carbón se utiliza ampliamente para eliminar las cenizas y el azufre pirítico de gravedad específica mayor, pero resulta típicamente en la pérdida de hasta 20% del carbón en el proceso. Se utilizan varios métodos costosos de
5 secado del carbón en un esfuerzo para incrementar las kcal/kg (BTU/lb o Unidades Térmicas Británicas por libra (*British Thermal Units per pound*)) del carbón, y se han investigado muchos métodos en un esfuerzo por reducir de manera significativa el azufre.

10 El quemado o combustión del carbón, incluso de los grados más altos tales como antracita y bituminoso, genera emisiones significativas y es de preocupación creciente, debido a las consideraciones ambientales y del calentamiento global. El quemado de carbones con alto
15 contenido de azufre ha infligido un precio muy alto sobre la atmósfera en Europa del Este, China y en algunos otros lugares, y es en gran medida, responsable de los esfuerzos extensos pero no exitosos durante los últimos 25 años de encontrar medios de desulfuración eficientes y accesibles.
20 Mucho de este esfuerzo ha involucrado ondas electromagnéticas; viz, el uso de frecuencias ultravioleta, ópticas, infrarrojas, de radio, microondas, rayos x e incluso rayos gamma y combinaciones de las mismas. La mayoría han fallado. De hecho, hasta donde sabemos, no hay
25 una sola tecnología efectiva y económicamente viable de un

proceso de prequemado en la práctica comercial, electromagnético u otro, para eliminar el azufre o cualquier otro de los principales constituyentes del carbón.

5 La presencia de humedad, ceniza, azufre y otros constituyentes en cantidades variables en todos los carbones resulta en una variedad de problemas cuando el carbón se quema o se calienta de otra manera para cualquier propósito. Los gases nocivos, tales como óxidos nitrosos
10 (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), que resultan del quemado del carbón tienen efectos adversos en el medio ambiente, incluyendo lluvia ácida, smog, aire no sano cargado con azufre (que resulta en el color amarillo del cielo común en grandes regiones de China), y la deposición de partículas
15 tóxicas, algunas transportadas lejos de su origen por corrientes de aire superiores. Además, el quemado del carbón deja atrás ceniza inorgánica con sus elementos en trazas tales como mercurio, las consecuencias de lo cual rara vez se consideran cuando se maneja o utiliza la ceniza
20 como un relleno en aplicaciones extensas y a largo plazo, tales como construcción y reparación de caminos. Hay ahora una preocupación agregada debido a las grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) generadas durante el quemado del carbón, lo que contribuye de manera significativa y
25 directa al calentamiento global. Finalmente, la presencia

de humedad significativa en muchos carbones resulta en un quemado ineficiente, lo que conduce al quemado de más carbón y por lo tanto, a la consecuencia de emisiones incrementadas. Se ha puesto relativamente poco énfasis en la eliminación de la humedad (es decir, contribuir al incremento en las kcal/kg (BTU/lb), lo que resulta directamente en ser capaces de quemar cantidades más pequeñas de carbón para generar la misma cantidad de energía y por lo tanto, en reducir en sí, todas las emisiones de las mismas).

Con los años, se han hecho numerosos intentos para eliminar o reducir de otra manera las cantidades de ceniza y azufre en el carbón y reducir por lo tanto, las varias formas de contaminación, mejorando la calidad y las características de combustión de los carbones. Desafortunadamente, tales intentos han probado ser tardados, costosos e imprácticos.

Por ejemplo, se han hecho intentos de "lavar" el carbón antes de la combustión. Estos intentos pueden ser caros y requieren adiciones y modificaciones caras y extensas al equipo de las plantas. En los sistemas de lavado, el carbón debe triturarse o dimensionarse utilizando tamices, pulverizadores, molinos de bolas, trituradores u otros tipos similares de equipo de trituración antes de alimentarse al lavador. Típicamente,

la reducción del tamaño del carbón utilizando tales tipos de equipo involucra equipo relativamente pesado y grande que es caro de comprar, mantener y operar.

En otros ejemplos, los sistemas y métodos de
5 limpieza involucran el secado extenso del carbón utilizando centrifugas, filtros de tambor giratorio, secadores de lecho fluidizado u otros tipos similares de equipo de secado antes del quemado o combustión del carbón o combustible. Típicamente, el secado del carbón utilizando
10 tales tipos de equipo involucra etapas complejas o múltiples del equipo, que también son caras de comprar, mantener y operar.

Otros intentos utilizan la adición de uno o más catalizadores a los carbones, en un esfuerzo por reducir la
15 cantidad de subproductos indeseados creados durante la combustión del carbón. Por ejemplo, ciertos tipos de catalizadores agregados al carbón pueden reducir la cantidad de azufre emitida durante la combustión del carbón. Estos intentos también están dirigidos a mejorar
20 las características de la combustión, tales como incrementar las kcal/kg (BTU/lb) del carbón a ser quemado. Sin embargo, estos intentos pueden crear un conjunto diferente de subproductos que pueden ser peligrosos y caros de desecharse o almacenarse.

25 En la ausencia de soluciones de prequemado para

este problema persistente, la depuración postquemado es actualmente la metodología preferida de la industria de servicios públicos eléctricos alimentados con carbón. Por ejemplo, se han instalado depuradores para limpiar los gases de combustión después de la combustión, eliminando los compuestos de SO_x y NO_x de los gases de combustión. Este tipo de equipo y otros sistemas y procesos similares son caros de instalar, mantener y operar. Desafortunadamente, esto no soluciona el problema del CO_2 , y los esfuerzos recientes de capturar y volver a encaminar los gases de CO_2 no parecen ser promisorios o prácticos.

Finalmente, muchas instalaciones de quemado de carbón combinan carbón con bajo contenido de azufre con carbón con alto contenido de azufre para reducir el carbón total, para cumplir con el índice regulado por el gobierno de kilogramos de SO_2 por millones de kcal (libras de SO_2 por millones de BTU). Esto requiere generalmente, el transporte a largas distancia de carbones pesados, cargados de humedad, con los costos del transporte que con frecuencia igualan o exceden el costo del carbón.

SUMARIO DE LA INVENCIÓN

Se describen en la presente metodologías, sistemas y procesos que emplean la energía electromagnética (por ejemplo, energía de microondas) para alterar la

estructura mecánica del carbón y para alterar de manera separada y/o colectiva los constituyentes centrales del carbón mediante diseño, para mejorar la calidad de la combustión del carbón combustible (por ejemplo, disminuir la humedad e incrementar las kcal/kg (BTU/lb) a niveles óptimos para la aplicación en cuestión, disminuir todas las formas de azufre, incluyendo el azufre orgánico más difícil de eliminar y disminuir la ceniza, mientras se mantiene o mejora el valor de calentamiento de los carbones).

Las modalidades de la presente invención pueden diseñarse para el tipo de carbón y los cambios en las propiedades que se buscan. Los sistemas pueden ser modulares, se pueden mejorar, ser portátiles o fijos y pueden utilizarse en ubicaciones en línea o fuera de la línea para minería subterránea o superficial o en plantas de servicios públicos. Los parámetros del proceso pueden seleccionarse para ajustarse a los requisitos de aplicaciones específicas, mientras se eliminan y recolectan subproductos valiosos tales como agua, azufre y ceniza. Los métodos en línea y fuera de la línea pueden utilizarse para determinar las propiedades del carbón procesado, con sistemas de retroalimentación utilizados para cambiar los parámetros de control del proceso, tales como el tiempo de residencia (velocidad de flujo), potencia, flujo de aire, etc., para obtener las propiedades de mejora del

combustible preseleccionadas y no sobre o subprocesarlas.

El proceso empieza reuniendo la información de un carbón particular, incluyendo su ubicación (boca de la mina, mina superficial, instalación de mezclado en un río, o planta de servicios públicos en cualquier lugar, antes del triturado final, etc.). Otra consideración son los propósitos para los cuales se utilizará el carbón procesado (por ejemplo, el combustible más eficiente y limpio puede utilizarse para calderas de instalaciones alimentadas con carbón, el combustible con bajo contenido de azufre y alta volatilidad puede utilizarse para el procesamiento de acero y otros procesos, combustible para propósito especial para procesamiento químico, etc.) y las propiedades que se buscan. A continuación, se identifican las cantidades del tonelaje consideradas para el procesamiento y cualesquier procedimientos de manejo existentes que necesitan considerarse, tales como la trituración o el tamizado del carbón. A continuación, las muestras de las materias primas se miden para determinar sus propiedades. Finalmente, se diseña un sistema para proporcionar las propiedades que se buscan del combustible procesado específico. Los parámetros de diseño del sistema que pueden preajustarse o variarse en tiempo real incluyen: la capacidad del sistema de manejo de entrada del carbón para acomodar las cantidades y tamaños a ser alimentados en el

procesador, el tamaño, forma y tipo de la cámara de
proceso/sistema transportador para manejar los tamaños y
las velocidades de flujo requeridos en el tiempo señalado o
requeridos para el procesamiento, la frecuencia o
5 frecuencias electromagnéticas y los niveles y las
duraciones de la potencia requeridos para obtener las
propiedades que se buscan para los carbones en cuestión, y
las profundidades de penetración requeridas para asegurar
que los carbones se procesan en promedio al grado
10 requerido.

La tecnología del proceso electromagnético, de
prequemado, en seco y de una sola etapa del carbón ha
demostrado: alterar la estructura mecánica de los carbones,
y por lo tanto, incrementar de manera significativa su
15 molturabilidad; disminuir la humedad e incrementar las
kcal/kg (BTU/lb) a niveles óptimos para la aplicación en
cuestión, disminuir todas las formas de azufre, incluyendo
el azufre orgánico más difícil de eliminar, disminuir la
ceniza, y disminuir de manera significativa el índice de
20 emisiones de kg de SO₂/miles de millones de kcal (lbs de
SO₂/MMBTU), mientras se mantiene el valor de calentamiento
de los carbones. Además, a diferencia de los intentos
anteriores, el carbón puede procesarse vía estos métodos
sin formar una pasta aguada o agregar de otra manera un
25 solvente u otro líquido antes de la irradiación del carbón.

Los métodos descritos en la presente también van más allá de simplemente eliminar el azufre o cualquier otro componente único del carbón, como se intentó en los métodos previos; en su lugar, los métodos pueden utilizarse para
5 alcanzar los objetivos con respecto a cada una de una variedad de propiedades del carbón, tales como aquellas identificadas anteriormente.

La metodología del proceso, discutida en la presente, tiene la capacidad de variar los parámetros del
10 proceso para identificar las propiedades de combustión específicas de los combustibles sólidos. Por ejemplo, puede identificar de manera efectiva una reducción específica en la humedad y un intervalo de kcal/kg (BTU/lb) relativamente estrecho incluso para un lote de carbón (cada
15 lote de carbón) con muestras que tienen una distribución de tamaños y de propiedades.

Se alcanzan resultados representativos con la deshumidificación, resultados representativos pero no "mejores", compilados para mostrar la amplia aplicabilidad
20 del proceso. Los resultados se han arreglado en orden de reducción creciente en el % de humedad para proporcionar además evidencia del hecho de que con estos métodos y aparatos, cualquier carbón puede procesarse a un nivel deseado de reducción de la humedad. Además, con las
25 pruebas directas preprocesamiento, también podemos valorar

la cantidad de ceniza y azufre en los carbones de la materia prima y cómo un carbón particular reaccionará con la tecnología del proceso, el resultado es que el sistema puede, si se desea, mejorar también otras propiedades de combustión del carbón.

El material listado y descrito aquí, demuestra además que estos sistemas, diseñados y operados en un modo en lotes o continuo, puede mejorar la deshumidificación u otras propiedades buscadas de la combustión del carbón; específicamente, carbones con

- % de humedad reducido a cualquier nivel deseado en cualquier grado de carbón hasta aproximadamente 1% o menos;

- kcal/kg (BTU/lb) incrementadas en cualquier grado de carbón a cualquier nivel hasta al menos el nivel en que tendría cero % de humedad o al menos 555 kcal/kg (1,000 BTU/lb) (puesto que el proceso también reduce el % de ceniza y el % total de azufre, contribuyendo a un incremento adicional en las kcal/kg (BTU/lb));

- % de ceniza reducido en cualquier grado de carbón (por ejemplo, por al menos aproximadamente 2%); en las modalidades particulares, las reducciones varían de aproximadamente 10% a más que 50%; y

- todas y cada una de las formas de azufre reducidas (por ejemplo, reducciones de al menos

aproximadamente 2% del azufre total, al menos
aproximadamente 3% de la pirita, al menos aproximadamente
5% del sulfato y al menos aproximadamente 1% del azufre
orgánico); en las modalidades particulares, el azufre total
5 se reduce del 25% al 50% y para algunos carbones, incluso
más.

Además, con estos sistemas y métodos, el riesgo
de proyección de chispas (e ignición) puede reducirse o
eliminarse. Aunque se empleaban previamente piezas y
10 tamaños de muestra de tamaño pequeño para tratar de reducir
el riesgo de proyección de chispas, el uso de mediciones en
línea, verificación y sistemas de retroalimentación, junto
con los ajustes acompañantes en los niveles de potencia,
los niveles del flujo de aire y los tiempos de residencia
15 para controlar la temperatura superficial, sirven para
reducir la proyección de chispas en las modalidades de los
métodos descritos a continuación.

Aún más, el entendimiento mejorado de los
inventores de cómo la energía electromagnética penetra el
20 carbón y las mayores profundidades de penetración que se
pueden alcanzar a niveles de potencia más altos, abre la
puerta para procesar de manera efectiva mayores (por
ejemplo, a nivel comercial) velocidades de rendimiento del
carbón y carbón que tiene tamaños de partícula mayores.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En los dibujos acompañantes, descritos a continuación, los caracteres de referencia similares se refieren a partes iguales o similares a través de las diferentes vistas. Los dibujos no están necesariamente a escala, en su lugar, se hace énfasis en ilustrar los principios particulares de los métodos y aparatos caracterizados en la Descripción Detallada.

La Figura 1 es una gráfica que muestra la absorción de la radiación electromagnética en una lignita particular como una función de la frecuencia.

La Figura 2 es una gráfica de la profundidad de penetración de la radiación electromagnética en agua a 25 grados C como una función de la frecuencia.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que describe generalmente una metodología del proceso, de acuerdo con las modalidades de la invención.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de los elementos del sistema del proceso, de acuerdo con las modalidades de la invención.

La Figura 5 ilustra un sistema transportador.

La Figura 6 ilustra un montaje de alimentación para utilizarse con el sistema transportador de la Figura 5.

La Figura 7 proporciona una vista en extremo del

transportador del aparato de las Figuras 5 y 6.

La Figura 8 proporciona una vista en extremo del transportador del aparato de las Figuras 5 y 6.

5 Las Figuras 9 y 10 muestran vistas en perspectiva de una cubierta del lecho de transferencia para el aparato mostrado en la Figura 5.

Las Figuras 11 y 12 muestran vistas en perspectiva de una cubierta del lecho de transferencia para el aparato mostrado en la Figura 5.

10 La Figura 13 ilustra un montaje de procesamiento por lotes de acuerdo con las modalidades de la invención.

Las Figuras 14 y 15 ilustran una vista superior y lateral del montaje de procesamiento por lotes mostrado en la Figura 13.

15 La Figura 16 ilustra una planta piloto.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

I. El Carbón

A. Generalidades

20 Es carbón es un combustible inflamable formado a partir de plantas fosilizadas; el carbón comprende carbón amorfo combinado con varios compuestos orgánicos y algunos inorgánicos. Como se describió por Harold H. Schobert en "Carbón, la Fuente de Energía del Pasado y el Futuro"

25 (*Coal, the Energy Source of the Past and Future*) (*American*

Chemical Society, 1967), las enseñanzas completas de la cual se incorporan en la presente como referencia, "[c]arbón varía de un material marrón suave, húmedo a un sólido negro muy duro, brillante", y sus propiedades físicas y químicas pueden variar considerablemente dependiendo de cómo, cuándo y dónde se depositaron los materiales, los tipos de material orgánico presentes inicialmente, y su alteración con el tiempo. Por lo tanto, ha sido necesario clasificar y estandarizar los tipos y propiedades del carbón con el fin de explotar, comercializar y utilizar el carbón en la práctica comercial. El carbón se ha dividido en los siguientes "grados" principales, de la calidad más deficiente a la mejor calidad, respectivamente:

- 1) carbón marrón;
- 2) lignita;
- 3) carbón subbituminoso;
- 4) carbón bituminoso; y
- 5) antracita.

El carbón marrón tiene un contenido de humedad muy alto, con bajos valores de kcal/kg (BTU/lb) (alrededor de 1665 kcal/kg (3000 BTU/lb)) como se explota. La lignita es una clase de carbón marrón-negro que tiene un contenido de humedad que varía de 20% a más de 50% y unas kcal/kg (BTU/lb) que varían de 2220 a aproximadamente 3885 (4000 a

aproximadamente 7000). El carbón subbituminoso es un carbón negro sin la textura amaderada encontrada en las lignitas; el carbón subbituminoso tiene una alta humedad (típicamente 30% a 35%) y kcal/kg (BTU/lb) que unen el hueco entre las lignitas y los carbones bituminosos. El carbón bituminoso es un carbón suave que tiene la variación más amplia en la composición química; el carbón bituminoso puede variar de 5% a 20% de humedad y tiene niveles de kcal/kg (BTU/lb) en cualquier lugar de 5550 a más de 7770 (10000 a más de 14000). En los Estados Unidos, el carbón bituminoso se encuentra principalmente en los campos del este. Los carbones de antracita son muy duros y tienen un contenido de humedad relativamente bajo (típicamente <5%) y kcal/kg (BTU/lb) en la región de 7770 (14000) como se explotan. Cada uno de estos grados se ha dividido todavía en subcategorías (ref. ASTM, 1981, D-2796, y la Investigación Geológica de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey)). En todos los casos, se encuentra que el carbón varía de mina a mina, de veta a veta y dentro de cada veta, con frecuencia varía de manera significativa.

Los máximos intervalos de variabilidad para los carbones de todos los grados son, hablando de manera general:

kcal/kg	(BTU/lb)	<2,719.5	(4,900)	a	>8,547
(15,400);					

humedad <3.0% a >50%;
 ceniza <3.0% a >35%; y
 azufre total <0.25% a >6.0%.

5 Dentro de una mina individual: las kcal/kg (BTU/lb) pueden variar tanto como 1,387.5 (2,500); la humedad puede variar tanto como 13%; la ceniza puede variar tanto como 13%, y el azufre total puede variar tanto como 3%.

10 Debido a que los carbones son altamente variables en apariencia, composición y propiedades (de carbones marrones a lignitas a subbituminosos a bituminosos a antracitas y dentro de cada grado y dentro de cada mina o veta o puñado), es difícil generalizar sobre cómo mejorar las propiedades de un carbón particular como un
 15 combustible, y usualmente, poco confiable. Por lo tanto, los carbones son evaluados de manera única en una base caso por caso.

B. Base de Datos del Carbón

20 Se ha montado una base de datos de las mediciones sobre una amplia variedad de carbones de materia prima y procesados incluyendo, de manera no exclusiva, carbones con bajo contenido de azufre de Australia, la República Popular China y Corea del Sur, una variedad de carbones de la
 25 India, y carbones de Canadá y los Estados Unidos

(incluyendo Alabama, Florida, Illinois, Ohio, Oklahoma, Pennsylvania, Texas y Wyoming).

Todos los lotes de carbón de tal como salen de la mina se probaron primero para determinar sus propiedades promedio. Para aproximarse mejor a la práctica comercial, se seleccionaron muestras adicionales, pero separadas, tal como salen de la mina de cada lote para el procesamiento, es decir, se seleccionaron muestras que no habían sido alteradas primero de ninguna manera. Con tal procedimiento, se seleccionaron suficientes muestras para asegurar que sus propiedades eran representativas de los carbones tal como salen de la mina, en promedio.

Se ha utilizado un método de toma de muestras estadísticas, autoconsistente para estudiar cientos de muestras de materia prima y procesadas, para su apariencia visual, color, dureza, uniformidad, tamaños y pesos y para las muestras procesadas, sus temperaturas superficiales e internas. Una porción de esta base de datos comprende resultados de prueba de los *Standard Laboratories* de Charleston Sur, Virginia Occidental, EUA, sobre aproximadamente 450 muestras de materia prima y procesadas, en donde las mediciones de la muestra incluyeron el por ciento de humedad, por ciento de ceniza, porcentaje de volátiles, porcentaje de carbón fijo, kcal/kg (BTU/lb) (como se recibió, en base seca, libre de humedad y ceniza;

definido a continuación), formas de azufre (por ciento de cada uno de azufre total, pirita, sulfato, azufre orgánico, como se recibió y en base seca), índice de molturabilidad de Hardgrove (HGI), mercurio total, temperaturas de fusión de la ceniza y análisis mineral de la ceniza.

C. Procedimientos de Prueba y Definiciones para Evaluar el Carbón

El primer paso fue pulverizar la muestra y utilizar una pequeña parte para determinar el por ciento de humedad. A continuación, otra parte de la misma muestra se utilizó para determinar el por ciento de ceniza ("como se recibió" significa que nada se había hecho a la muestra antes de que se probara). "Base seca" es un valor calculado que toma la medición como se recibió y la ajusta a como sería si no hubiera humedad en la muestra. Las kcal/kg (BTU/lb) se calculan de la misma manera; es decir, el valor se determina para parte de la muestra como se recibió y a continuación se calcula basándose en que no hay humedad (base seca). A continuación, se realiza un cálculo similar "libre de M-A", para lo que sería el valor se no hubiera humedad (M) ni ceniza (A). Las "formas de azufre" se determinan de manera similar para las muestras como se recibieron y a continuación también se calcula en una base seca.

Se llevó a cabo una toma de muestras aleatoria y se hicieron comparaciones entre las características visuales y las propiedades medidas en ambos modos por lotes y de procesamiento continuo, para dar confianza adicional
5 de que los resultados son representativos de aquéllos que se obtendrían del procesamiento de cantidades a escala comercial (decenas a cientos de toneladas por hora y más).

Como parte del montaje de la base de datos, se hicieron mediciones de laboratorio en una variedad de
10 carbones de materia prima y procesados y en sus constituyentes separados tales como ceniza, pirita y azufre orgánico. Las mediciones incluyeron la absorción y reflexión sobre una amplia gama de frecuencias electromagnéticas. Se utilizó un sistema de verificación
15 de las propiedades dieléctricas para medir los cambios en las propiedades dieléctricas de los carbones, tales como los cambios que ocurren como un resultado de los efectos del proceso en la composición química. Las propiedades dieléctricas influyen cómo responderá el material a la
20 radiación electromagnética.

Pequeñas cantidades de varios carbones se probaron primero en una configuración de microondas de espacio libre, diseñada especialmente, en donde se utilizó una guía de onda para tomar la radiación de microondas
25 fuera de una cámara de microondas hacia una superficie

abierta, en donde pequeñas muestras pueden irradiarse a niveles de baja potencia y tiempos variables y pueden observarse, verificarse y pesarse. A continuación, se probaron muestras mayores en varias cámaras de hornos de microondas. Estos sistemas de horno fueron de diferentes tamaños de la cámara, con la capacidad de variar la potencia y el tiempo aplicados. Cuando se observó que la mayoría de las propiedades del combustible para los tamaños pequeños e intermedios de la muestra de carbón (hasta 2.27 kg (5 libras) se mejoraba, se diseñó un sistema con una cámara mayor, para variar el intervalo de la potencia capaz de ser aplicada y proporcionar la capacidad de procesar muestras de hasta aproximadamente 18.16 kg (40 libras) en el modo por lotes (véase el aparato ilustrado en las Figuras 13-15). Cuando estas pruebas proporcionaron las mismas mejoras en las propiedades del combustible que se buscaban y se obtuvieron con sistemas de proceso más pequeños y muestras más pequeñas, se llevaron a cabo pasos de escalamiento adicionales diseñando un sistema de proceso continuo, de flujo pasante, capaz de procesar aproximadamente 454 kg (1000 libras) por hora (véase las Figuras 5-12). Las pruebas del proceso con el sistema de proceso de flujo pasante demostraron que las propiedades del combustible pueden alterarse como en las pruebas del proceso en el modo por lotes con el tamaño de muestra más

pequeño; es decir, la metodología del proceso objeto puede adaptarse fácilmente a una amplia gama de tipos de carbón y velocidades de flujo requeridas, mientras que se obtienen las propiedades mejoradas deseadas del combustible.

5

II. Metodología del Proceso

A. Exposición del Proceso Total

La secuencia de pasos en el proceso total puede exponerse como sigue.

- 10 1) Medición de la absorción electromagnética por los carbones y sus constituyentes sobre una amplia gama de frecuencias electromagnéticas.

Habiendo seleccionado la radiación electromagnética como el agente activo central para el procesamiento de combustibles sólidos/carbón, es necesario entender su efecto en los carbones y en sus constituyentes separados. Esta información puede obtenerse de las mediciones de la absorción y reflexión electromagnética y, especialmente, la capacitancia inductiva específica de los materiales. La capacitancia inductiva específica es una propiedad intrínseca de un material y puede utilizarse para predecir la respuesta de un material a las microondas o a cualquier otra radiación electromagnética. Los términos radiación "electromagnética" y de "microondas" se utilizan de manera algo indistinta a través de esta discusión. En

15

20

25

todos los casos, el intervalo disponible de radiación electromagnética incluye las frecuencias expuestas en algún otro lugar en la presente, que pueden considerarse por algunos estándares como que están en la frecuencia de "radio" inferior, más que en la frecuencia de "microondas" superior, como se utilizan esos términos algunas veces.

Las mediciones de absorción y reflexión se han hecho para varios carbones diferentes, de materia prima y procesados; y también pueden hacerse mediciones de varios constituyentes del carbón, tales como la ceniza, pirita y azufre orgánico. Las mediciones de la absorción de la radiación electromagnética sobre el intervalo de frecuencias de 0.5 GHz a 18 GHz (500 MHz a 18,000 MHz) se reportan en la Figura 1 para dos muestras, cada una de la misma lignita del este de Texas de material prima (curvas superiores) y procesada. Las siguientes características son evidentes de estas mediciones y en las cuatro mediciones de absorción:

- La tendencia general hacia abajo en la absorción de derecha a izquierda cuantifica el hecho de que este (y todos los carbones) es menos eficiente en absorber la radiación electromagnética conforme uno se mueve hacia las frecuencias menores, por lo tanto, la penetración de la radiación a través del carbón es mayor a las frecuencias menores.

• Los picos observados cerca de 0.8, 2.45, 5.75 y 11.6 y que aparentemente inician cerca de 18 GHz, parecen estar relacionados unos con otros, por ejemplo, la frecuencia del pico de absorción cerca de 11.6 GHz es casi exactamente el doble de la frecuencia del pico de absorción precedente a 5.75 GHz. Estas características están presentes en cada medición de la absorción electromagnética del carbón. Creemos que estas características reflejan las respuestas específicas a uno o más constituyentes principales del carbón o tal vez a la energía rotacional de una molécula grande (hidrocarbano o azufre) o ambos. De particular interés son los hechos, observados en las cuatro mediciones de la absorción (a) que estas características son incluso evidentes en el carbón procesado, pero reducidas de manera significativa en comparación con el fondo y (b) que los niveles de absorción versus frecuencia para el fondo (agua unida) y para los picos son significativamente menores para los carbones procesados.

El intervalo de frecuencias elegido para estas mediciones cubre la mayoría de las frecuencias de microondas, con las frecuencias menores que se funden posiblemente en el campo de las radiofrecuencias, dependiendo de cómo se definan estos términos. Las frecuencias marcadas en 0.322, 0.460, 0.915 y 2.45 GHz corresponden a las frecuencias electromagnéticas

principales dentro de este intervalo que están aprobadas para el uso doméstico y algunas para uso internacional. 2.45 GHz es la más común, siendo la frecuencia de amplio uso mundial en los hornos de microondas de cocina. 0.915 GHz es la frecuencia de elección mundial para aplicaciones de secado con microondas, tales como para curar cerámica, secar pastas, alimentos para mascotas, cacahuates y alimentos que no se meten al horno, etc. Nótese su proximidad con los dos picos mencionados anteriormente. Los picos en aproximadamente 5.75, aproximadamente 11.6 y aproximadamente 18 GHz sugieren a estas frecuencias como opciones adicionales para las microondas en este proceso.

Los datos proporcionan suficiente entrada para proceder con la definición del siguiente paso requerido en el diseño de un sistema de radiación electromagnética central. El uso de esta información se ilustra a continuación (punto 7).

2) Cálculo de las profundidades de penetración de la radiación electromagnética en los carbones húmedos y secos a las frecuencias electromagnéticas disponibles y aprobadas para uso doméstico e internacional en aplicaciones de microondas.

En apoyo adicional al esfuerzo para entender la interacción de la radiación electromagnética con los carbones, se llevaron a cabo cálculos teóricos de amplio

intervalo, basados en nuestros estudios de la interacción de la radiación electromagnética y los materiales en varios laboratorios dedicados a tales estudios durante todo el periodo que data desde finales de la década de 1960. Estos
5 cálculos incluyen los efectos de absorción y reflexión de la radiación electromagnética utilizando diferentes parámetros físicos con carbones húmedos y secos, con capas de carbones, en contacto con huecos de aire y los efectos de la temperatura y las profundidades de penetración para
10 una gran variedad de parámetros de entrada. El apoyo a las mediciones de la radiación electromagnética incluyó estudios de los efectos del tamaño, forma, rugosidad de la superficie y propiedades electromagnéticas de la partícula.

Los cálculos de las profundidades de penetración
15 en cada una de las cuatro frecuencias mencionadas anteriormente, se proporcionan en la Figura 2. Aunque los cálculos son para agua no unida o libre a 25°C (las propiedades varían con la temperatura), las diferencias en las profundidades de penetración a diferentes frecuencias
20 también se aplican al carbón, especialmente al carbón con alto contenido de humedad, a una primera aproximación. Dicho de manera diferente, la penetración se incrementa de manera muy significativa conforme uno se mueve a las frecuencias menores; para el ejemplo mostrado, la
25 penetración de la radiación electromagnética en agua a

0.322 GHz es más que 30 veces su penetración a 2.45 GHz. De manera significativa, en nuestro procesamiento de laboratorio, fuimos capaces de penetrar varios carbones 3 a 4 veces más profundamente a 2.45 GHz que lo predicho.

5 Atribuimos esta diferencia en la mayor parte, al hecho de que el agua está distribuida de manera aleatoria a través del carbón y no en una sola o múltiples capas, es decir, hay trayectorias a través del carbón en las cuales la radiación electromagnética encontrará poca o ninguna agua y

10 por lo tanto, penetra más fácilmente o en algunos casos, pasa directamente a través del carbón en esas regiones. Además, la penetración se incrementa de manera muy significativa conforme el carbón y su humedad atrapada incrementan su temperatura. Un factor adicional, pero

15 menor, se deriva de las diferencias en las propiedades del agua libre y unida. Es importante notar aquí que las temperaturas superficiales del carbón durante el procesamiento se encuentran con frecuencia que son de 70°C y mayores, lo último cuando también se buscan reducciones

20 del azufre y la ceniza. Puesto que las temperaturas interiores pueden ser incluso mayores que las temperaturas superficiales, puede asegurarse la penetración profunda mediante la selección apropiada de la frecuencia de operación electromagnética y prestando atención cuidadosa a

25 las temperaturas medidas durante el procesamiento.

La importancia de tales mediciones, especialmente para la deshumidificación, se deriva del hecho de que el incremento en la profundidad de penetración conforme uno va hacia las frecuencias menores más que (sic) compensa la
5 disminución relativamente pequeña en la eficiencia de absorción del agua (Figura 1). Esta relación juega directamente con la necesidad de incrementar la profundidad del carbón a ser procesado si se van a realizar rendimientos grandes, comercialmente viables.

10 3) Determinación de las propiedades del carbón de materia prima

Los carbones varían de un material marrón, suave, húmedo a un sólido negro muy duro, brillante, y sus propiedades físicas y químicas pueden variar
15 considerablemente, dependiendo de cómo, cuándo y dónde se depositaron los materiales, los tipos de material orgánico presentes inicialmente, y su alteración con el tiempo. Los tamaños y formas, dureza, volatilidad, contenido de carbón, minerales en trazas, combustión y otras propiedades varían
20 ampliamente dentro de cada grado de carbón, de mina a mina, y dentro de cada mina o veta.

Se determinaron las siguientes propiedades de los carbones de materia prima seleccionados para el procesamiento: humedad, kcal/kg (BTU/lb), ceniza, formas
25 del azufre (por ejemplo, pirita, sulfato, orgánico),

tamaños, estructura y dureza (molturabilidad). El primer paso para determinar las propiedades de cualquier carbón de materia prima o como se extrae de la mina que se considere para el procesamiento es tomar muestras del carbón mediante

5 estándares aceptados. Estos estándares incluyen los Estándares de la ASTM D 388 (Clasificación de los Carbones por Grado), D 2013 (Método para Preparar Muestras de Carbón para el Análisis), D 3180 (Práctica Estándar para Calcular el Carbón y los Análisis de Coque de Como se Determinó a

10 Diferentes Bases) y el Boletín de la Investigación Geológica de los Estados Unidos 1823 (Métodos para Tomar Muestras y Análisis Inorgánicos del Carbón). Para algunos carbones y lignitas, hay diferencias observables grandes con respecto a la estructura (por ejemplo, lisa o rugosa o

15 similar a una placa), coloración (por ejemplo, marrón como en algunas lignitas Asiáticas similares a polvo, lignitas del este de Texas negras y duras, líneas o rayas o combinado) y composición (por ejemplo, pesado o ligero con piezas obvias de ceniza o pirita o incluso piezas con

20 textura de madera de materia vegetal o madera observada en algunas lignitas), húmedo o seco, la distribución de los tamaños de la muestra, etc. Algunas muestras de materia prima también se seleccionan para las pruebas basándose únicamente en tales características observables, y algunas

25 muestras que tienen estas características mezcladas

aleatoriamente también se seleccionan para examinar completamente cada una de las muchas diferencias observadas en los carbones. Puesto que no hay un solo estándar de toma de muestras que proporcione tal diversidad, se
5 desarrolló un método de toma de muestras, extenso y consistente, por lo que ninguna de tales diferencias se deja de examinar.

De acuerdo con el objeto de la tecnología del proceso del carbón para mejorar todas las propiedades de combustión del carbón, el siguiente paso es seleccionar un
10 laboratorio de prueba con experiencia y ampliamente aceptado (tal como *Standard Laboratories, Inc.*) que esté certificado para probar la variedad más amplia posible de propiedades físicas y químicas del carbón. Cada una de las
15 siguientes propiedades puede medirse: por ciento de humedad, por ciento de ceniza, por ciento de volátiles, por ciento de carbón fijo, kcal/kg (BTU/lb) (como se recibió, base seca y libre de humedad y ceniza), formas de azufre (por ciento de cada uno de total, pirita, sulfato y azufre
20 orgánico, como se recibió y base seca), índice de Molturabilidad de Hardgrove (HGI), mercurio (PPM en seco), temperaturas de fusión de la ceniza, y análisis de los minerales de la ceniza. Los términos utilizados en la presente se definen por Standard Laboratorios y son comunes
25 para la comunidad de pruebas del carbón, y se han definido

en algún otro lugar.

Es importante (a) probar suficientes muestras para cubrir más que aquellas muestras seleccionadas debido a sus diferentes apariencias, (b) enviar una cantidad mayor de cada muestra que la requerida para la prueba, (c) documentar cuidadosamente en cada caso los criterios utilizados para la toma de muestras, y (d) mantener una muestra de control de cada lote de materia prima enviado para las pruebas. Después de recibir los resultados de las pruebas y los residuos de las muestras no utilizados por el laboratorio de pruebas, es importante registrar cuidadosamente los resultados, por ejemplo, vía una hoja de cálculo (por ejemplo, utilizando el programa Excel™) que permitirá varias tomas de muestras estadísticas, promediado, etc. También es importante estudiar cuidadosamente los resultados de las pruebas para descubrir posibles correlaciones entre los resultados de las pruebas y los varios criterios de toma de muestras utilizados, incluyendo las diferencias observadas en la apariencia. De esta manera, es posible caracterizar de manera completa y apropiada la distribución o intervalo de propiedades que puede decirse que representan en promedio, el lote de carbón del cual se tomaron muestras.

4) Definición de los objetivos del procesamiento (por ejemplo, propiedades buscadas y las

cantidades a ser procesadas).

A continuación, los objetivos del procesamiento son típicamente, si no es que siempre, definidos por la parte que busca las propiedades mejoradas para sus propios
5 carbones o para carbones exteriores traídos para sus necesidades específicas. Estos objetivos pueden incluir mejoras a una o más de las propiedades de la combustión de los carbones, con las mismas mejoras hechas a todo el carbón o procesando algo del carbón a umbrales más altos de
10 las propiedades y combinándolo con el carbón no procesado para obtener en promedio, las propiedades generales deseadas. Por ejemplo, las plantas de energía que queman lignitas de bajo grado, con bajas kcal/kg (BTU/lb), con frecuencia traen carbones occidentales de grado más alto
15 para combinarlo con los carbones de grado más bajo, en un esfuerzo por alcanzar emisiones más bajas y eficiencia de operación incrementada.

Otras consideraciones importantes se relacionan con el rendimiento que se busca. Para usuarios a pequeña
20 escala que consumen sólo de 25,000 a 50,000 toneladas por año, una opción de costo menor puede ser procesar en el modo por lotes o en el modo por lotes/continuo. El último método hace uso de cajones o tambores que se cargan con carbón, se mueven en posición bajo un sistema que rodea el
25 procesamiento de la radiación electromagnética, se procesa,

se desacopla del procesador y se mueve a lo largo de la línea de procesamiento para salir y descargarlo, mientras que los recipientes cargados con carbón que siguen se mueven en posición para el procesamiento. Para los
5 rendimientos muy altos requeridos en la mayoría del manejo y procesamiento del carbón, el carbón se procesa de una manera continua, sin parar las máquinas. Esto plantea una de las exigencias más difíciles de cualquier sistema de proceso y es una de las varias razones por las que los
10 equipos de científicos e ingenieros de proceso han trabajado sin descanso durante décadas en un esfuerzo por desarrollar un medio útil y accesible para el procesamiento del carbón antes del quemado, pero sin éxito. El significado del rendimiento en el diseño y operación de un
15 sistema de proceso se muestra por ejemplo, en la sección 7, siguiente.

5) Uso de pruebas de laboratorio a pequeña escala (4.54 a 18.16 kg (10 a 40 libras)) para determinar cada respuesta real del carbón a los parámetros clave del
20 proceso.

Los carbones son probados antes del proceso en un entorno controlado del laboratorio para determinar de primera mano, la respuesta de los carbones al sistema de proceso que se diseña para utilizarse en el campo. La
25 información de esta prueba asegura que un sistema de

proceso puede, en realidad, cumplir con los objetivos para los cuales se diseñó. Se toman muestras del lote de carbón de manera sistemática y se procesan para asegurar que los resultados proporcionarán estos datos de entrada
5 significativos al diseño del sistema de proceso central.

Las pruebas utilizan un sistema de proceso de laboratorio versátil, diseñado específicamente para este propósito. El sistema de laboratorio tiene las siguientes características:

10 • La frecuencia de microondas es de 2.45 GHz. Con la información obtenida de las Figuras 1 y 2, uno puede "preprocesar" el carbón a una frecuencia diferente de aquélla en el sistema de proceso diseñado para uso en el campo, y uno pueden relacionar entonces los resultados a
15 esta frecuencia con lo que puede esperarse en la frecuencia del sistema de campo. Esta correlación se ha verificado además por un acuerdo excelente en las propiedades obtenidas de los carbones de procesamiento del mismo lote, utilizando dos frecuencias diferentes en un modo continuo y
20 una de las mismas frecuencias en un modo por lotes.

 • Una cámara de microondas sellada herméticamente, a prueba de fugas con carga frontal fácil y capaz de procesar de 4.54 a 18.16 kg (10 a 40 libras) se proporciona para irradiar las muestras, el procesamiento de
25 cantidades más pequeñas hace más difícil asegurar que se

procesan suficientes muestras para evaluar de manera apropiada sus respuestas al sistema con múltiples parámetros diseñado para el procesamiento en el campo de los carbones.

5 • El sistema ofrece la capacidad de variar la potencia electromagnética aplicada en cualquier cantidad sobre el intervalo de cientos de watts a más de 3,000 watts. Esta flexibilidad se debe, en parte, a nuestro uso de tres magnetrones, por lo que la potencia está en un
10 ciclo de trabajo a intervalos cortos para que sea aproximadamente equivalente a ser capaz de variar de manera instantánea los niveles de potencia.

 • Los tres magnetrones mencionados anteriormente se colocan cuidadosamente para obtener
15 orientaciones del campo "apropiadas". Por ejemplo, cada una de las salidas de los tres magnetrones (1002) puede guiarse individualmente a través de una guía de onda rectangular en la cavidad de procesamiento con un sintonizador (1003) y una abertura que verifica la potencia
20 (1004) en su trayectoria (véase la Figura 13). La dirección de polarización de la microonda, a lo largo de la cual vibra el campo eléctrico, es perpendicular al lado más ancho de la boca de la guía de onda en la entrada de la cavidad. Cualesquier dos polarizaciones de entrada vecinas
25 tienen que estar orientadas de manera apropiada, por

ejemplo, perpendiculares una con otra, con el fin de reducir al mínimo el acoplamiento entre las dos fuentes del magnetrón respectivas. De manera similar, las tres entradas están localizadas de manera apropiada en la cavidad, para reducir al mínimo las interacciones indeseadas del magnetrón. Los magnetrones pueden utilizarse solo o junto con los niveles de potencia seleccionables en cada uno. El ajuste (o graduación) de la posición y profundidad de una sonda que se desplaza en el sintonizador mencionado anteriormente, proporciona un flujo eficiente de potencia de microondas por la llamada "correspondencia de la impedancia" entre la fuente y la carga. La sintonización es verificada fácilmente por un detector conectado a la abertura que verifica la potencia (1004), como se muestra en la Figura 13. Se realizan pruebas extensas de temporización y temperatura utilizando agua, en donde la magnitud de la potencia que fluye en la cavidad, se mide en cada abertura que verifica la potencia de las microondas (1004), y la medición de la elevación de la temperatura de una cantidad de agua dada en varias ubicaciones en la cavidad proporciona la potencia real que es absorbida. El mezclado de los modos [es decir, los patrones de las formas de onda de la onda electromagnética en la cámara] se prueban y verifican. Se realizan las calibraciones. Se utiliza un manejo extenso del aire con

la cámara y de manera separada con el suministro de potencia, para proporcionar su estabilidad.

• El sistema también proporciona la capacidad de controlar la cantidad del flujo de aire, con o sin gas inerte. Se proporciona una abertura de entrada para el flujo de aire forzado y se proporcionan aberturas de salida/celdas de captura para los líquidos y gases portados por el flujo de aire que emanan de la cámara de proceso. Es útil tener una abertura disponible para las mediciones dentro de la cámara, detectadas de manera remota, de las temperaturas de la superficie del carbón durante el procesamiento.

Este sistema no requiere mediciones en tiempo real del contenido de humedad, contenido de ceniza, contenido de azufre o contenido de minerales en trazas o sistemas de retroalimentación acoplados a los controles del proceso. Cualquier sistema con capacidades similares servirá para el propósito expuesto en la presente.

El primer paso en la prueba del carbón por Standard Laboratorios y otros laboratorios de prueba del carbón es pulverizar las muestras y a continuación determinar las propiedades que se buscan. El procesamiento de las muestras pulverizadas devueltas entraría en conflicto con cómo se procesarían los carbones en la práctica comercial, haciendo necesario mostrar que el

procesamiento del carbón tal como sale de la mina daría los mismos resultados que aquéllos obtenidos por el procesamiento del mismo carbón, pero pulverizándolo antes de del procesamiento. Esto agregaría costo y tiempo
5 adicionales inaceptables requeridos para pulverizar el carbón en la mina o en la planta de energía antes del procesamiento.

Basándose en las preocupaciones anteriores, elegimos siempre procesar el carbón tal como sale de la
10 mina y no carbón pulverizado que regresa de Standard Laboratories después de su prueba. Para proporcionar los resultados que sean más representativos que antes y después de las pruebas de procesamiento de los mismos carbones, se seleccionan dos diferentes conjuntos de materias primas tal
15 como salen de la mina, para cada lote de carbón a ser procesado. Este procedimiento requiere que se prueben suficientes muestras en cada uno de los conjuntos de materias primas y en el conjunto procesado, para asegurar que la metodología es en realidad, estadísticamente
20 significativa y que caracterizad de manera apropiada las propiedades del carbón de materia prima y procesado, en promedio. La reproducibilidad notable de estas mediciones apoyan en gran medida este procedimiento; por ejemplo, diferentes muestras con el mismo peso exacto de inicio casi
25 siempre pierden precisamente la misma cantidad de peso

cuando se procesan de esta manera. Además, no fuimos capaces de alcanzar la misma eficiencia del sistema de proceso o la consistencia en los resultados cuando se procesaron las muestras pulverizadas de los mismos
5 carbones.

Nótese que este paso en el proceso pretende definir y refinar además el diseño del sistema de proceso central para sus carbones pretendidos y no sustituye las pruebas a escala completa del sistema de proceso final.

10 6) Recolección de la información de la línea basal para cada carbón

Se recolecta la información de la línea basal, tal como la ubicación de cada carbón considerado para el procesamiento (mina de carbón o instalación), sus
15 cantidades y cómo se mueven (bandas transportadoras o camiones o barcaza y/o tren de carbón, etc.), espacio de la huella del sistema disponible, potencia eléctrica disponible y costo, y cómo mover mejor el carbón hacia y desde el procesador. Los factores del sitio, el tamaño del
20 sistema de proceso, la configuración y el diseño se afectan directamente por consideraciones tales como la disponibilidad de la potencia adecuada y agua en el sitio de la mina o la planta de energía, espacio de la huella del sistema disponible (típicamente limitado en plantas de
25 energía), y los medios y velocidades mediante las cuales el

carbón se transporta en el sitio. Se utilizan bandas transportadoras para transportar el carbón en la mayoría de las minas y plantas de energía, que tienen una variedad de tamaños, velocidades y materiales de la banda. Puesto que se espera que los transportadores existentes transporten el carbón hacia y desde el sistema de proceso, y en algunos casos, incluso transiten por la cámara de proceso, las alimentaciones de entrada y salida del sistema de proceso se diseñan y dimensionan para los sistemas transportadores en cuestión. Si las bandas transportadoras transitan en la cámara de proceso, sus materiales se vuelven especialmente importantes y deben tomarse en cuenta tanto en el diseño como en la operación del sistema de proceso; por ejemplo, los materiales de la banda metálicos (que reflejan las ondas electromagnéticas) o no metálicos (que absorben las ondas electromagnéticas), introducen efectos electromagnéticos muy diferentes, y los tamices pierden materiales finos y pequeños que pueden resultar en problemas mecánicos en el sistema de transporte.

La capacidad de carga y la velocidad de banda transportadora también determinan directamente la capacidad y operación del rendimiento del sistema de proceso, ya sea que la banda se alimente a través de la cámara de proceso o se acople en un sistema de alimentación de carbón para el sistema de proceso.

7) Uso de la información obtenida de 1 hasta 6, anteriores, para desarrollar un diseño del sistema de proceso central para cada lote de carbón seleccionado para el procesamiento.

5 Lo siguiente se pretende como un recorrido de un ejemplo de un diseño de un sistema de proceso basado en radiación electromagnética para obtener una propiedad o propiedades de combustión postprocesamiento específicas, para un combustible sólido o tipo de carbón dado.

10

Suposiciones Iniciales, Requisitos y Elecciones:

La lignita de materia prima con 36% de humedad y 4051.5 kcal/kg (7300 BTU/lb) (que corresponde con el carbón de la Tabla 3 en la sección de Resultados Experimentales, *infra*), se procesa con el objetivo de obtener 23% de humedad y 4440 kcal/kg (8000 BTU/lb). Mientras que la Tabla 3 lista los resultados para procesar una muestra muy pequeña (varios kilogramos (libras)) a potencia moderada (5 a 20 kW) durante tiempos cortos (10 a 120 segundos), lo que se intenta en este ejemplo es proporcionar una guía de cómo uno puede procesar el mismo carbón pero con cantidades mucho mayores, y por lo tanto, con potencia más alta, pero tiempos de residencia comparables.

20 El rendimiento se ajusta a 10 toneladas por hora (TPH) o 66,000 toneladas por año (basándose en 20 horas por

día durante 330 días), y la lignita se procesa en una base continua o sin detener las máquinas. La velocidad (10 TPH aquí), se elige generalmente por el usuario, basándose en la producción de la mina actual o aquella porción de la producción a ser procesada y los sistemas de manejo del carbón existentes o las modificaciones requeridas por los mismos para manejar la cantidad de carbón a ser procesado.

Puesto que los pedazos de tamaño más grande de lignita tras la salida de las primeras estaciones típicas de triturado de la mina son de aproximadamente 20.32 centímetros (ocho pulgadas) en la dimensión más larga, la ranura de entrada de la cámara de proceso y otros espacios de pasaje del carbón son de 22.86 a 25.40 centímetros (9 a 10 pulgadas) de alto. De otra manera, se utiliza un paso de preprocesamiento para tamizar los pedazos más grandes o romperlos en piezas más pequeñas. Las dimensiones de la cámara son un parámetro del diseño del sistema de radiación electromagnética significativo y con frecuencia limitante (referirse a continuación).

Para la elección de la frecuencia de la radiación electromagnética, referirse a las Figuras 1 y 2.

Los magnetrones (el elemento básico que genera las microondas) a 2.45 GHz, se utilizan principalmente para aplicaciones de hornos de laboratorio, comerciales y de cocina de potencia relativamente baja, y no se fabrican con

las altas potencias (por ejemplo, 75 kW o mayores),
requeridas para procesar de manera efectiva el carbón de
acuerdo con los métodos descritos en la presente. Además,
2.45 GHz no proporcionan la penetración requerida para la
5 cantidad de carbón y la profundidad del portador del
carbón. Las dimensiones de la guía de onda y la cámara
para los sistemas de radiación electromagnética diseñados
de manera óptima (alta eficiencia, uniformidad y seguridad)
en esta frecuencia, son demasiado pequeñas para acomodar
10 tamaños de carbón mayores que 2.54 a 5.08 centímetros (1 a
2 pulgadas).

0.915 GHz es la frecuencia de elección para
muchas aplicaciones de secado con radiación
electromagnética, y los magnetrones de 75 kW y 100 kW se
15 han probado y están ampliamente disponibles, y pueden
unirse para alcanzar los niveles de potencia requeridos
para el procesamiento de carbón a gran escala (véase a
continuación). La profundidad de penetración limitada y
las dimensiones pequeñas del sistema de radiación
20 electromagnética restringen este uso de la frecuencia a
procesamiento con bajo rendimiento de carbones con tamaño
relativamente pequeño.

Los magnetrones que generan radiación
electromagnética de 0.460 GHz, no son fabricados en los
25 Estados Unidos, y ha habido dificultades en su desempeño y

servicio y en el cumplimiento de los programas de entrega prometidos.

Relativamente nuevos para el mercado comercial, los magnetrones que generan 0.322 GHz, son fabricados en los Estados unidos con una variedad de potencias.

En donde, por ejemplo, se procesan 10 toneladas (20,000 libras) de carbón por hora, una reducción del 13% de humedad, corresponde a eliminar 117.93 kilogramos (260 libras) de agua por tonelada o, en este caso, 1179.34 kilogramos (2600 libras) de agua por hora.

Las mediciones de los pesos de la muestra antes e inmediatamente después del procesamiento, proporcionan información que puede estar relacionada directamente con la reducción del por ciento de humedad. Las mediciones del peso adicionales 30 minutos después del final del procesamiento y 24 horas más tarde, siempre encuentra reducciones de peso aún mayores, agregando hasta un total de reducción del peso postprocesamiento de 3 a 5%. Estimamos de manera muy conservadora que el uso de una fase de precalentamiento (por ejemplo, utilizando radiación térmica o infrarroja, que es una frecuencia diferente de aquella de la radiación electromagnética aplicada más tarde en una cámara separada o en una parte separada de la cámara), antes del procesamiento con radiación electromagnética activa, puede reducir además el peso por 2

a 3%. Tomado junto con el ejemplo utilizado aquí, la reducción de humedad del 13% objetivo puede disminuirse de manera conservadora a aproximadamente 8% de lo que se necesitaría seleccionarse por el segmento de radiación electromagnética del proceso. Esta reducción que resulta del precalentamiento, resulta en la necesidad de eliminar 72.57 kilogramos (160 libras) de agua por tonelada mediante el procesamiento con radiación electromagnética, en lugar de 117.93 kilogramos (260 libras) requeridas en la modalidad.

A una eficiencia del 100%, 1 kW de energía electromagnética puede evaporar 1.383 kilogramos (3.05 libras) de agua por hora a temperatura ambiente. Para sistemas de radiación electromagnética bien diseñados, 98% de esa energía se absorbe y convierte a calor. Como referencia, 1 kW de energía electromagnética aplicada requiere aproximadamente 1.15 kW de electricidad y evapora 1.355 kilogramos (2.989 libras) de agua. Por lo tanto, 61.6 kW de electricidad se requieren por 72.57 kilogramos (160 libras) de humedad eliminada [es decir, 72.57 kilogramos (160 libras) por 1.15 kW por 100 kW de potencia electromagnética aplicada, dividido por 1.355 kilogramos (2.989 libras)]. De lo anterior, obtenemos un requisito de potencia de 533 kW por hora (9071.84 kilogramos (20,000 libras) divididas entre 136.07 kilogramos (300 libras) de

agua por 8% por 100 kW). Por lo tanto, pueden emplearse tres sistemas separados de 200 kW. Los sistemas de proceso se utilizan en paralelo o en línea, dependiendo del espacio de la huella disponible para los sistemas y los sistemas de
5 manejo del material que se ajusten a la ubicación.

Otros Parámetros del Proceso y Observaciones:

- Tiempo de procesamiento o tiempo de residencia en un sistema de procesamiento transportador:

10 El tiempo de procesamiento (durante el curso del cual una muestra se somete a la radiación), es típicamente de 5 segundos a 45 minutos, dependiendo del tamaño y configuración de la cámara de proceso, la potencia electromagnética disponible, y el tamaño de la muestra.
15 Las muestras pequeñas requieren tiempos de procesamiento más cortos, etc. (véase la Tabla 3). Los tiempos de residencia para el procesamiento de alto rendimiento pueden aumentarse de manera apropiada, pero las limitaciones de potencia actuales, requieren que el alto rendimiento
20 (cientos de toneladas por hora), puede obtenerse únicamente acoplando varios sistemas de procesos separados.

- Atmósfera de la cámara:

Se proporciona un flujo de aire significativo para transportar los líquidos y gases que resultan del
25 procesamiento. Un flujo de aire insuficiente resultará en

humedad que se condensa en las paredes de la superficie de la cámara, resultando en una pérdida de la eficiencia electromagnética y proyección de chispas y posiblemente combustión, la cual debe evitarse. La cantidad de flujo de
5 aire requerido, depende del tamaño de la cámara de procesamiento, el tamaño de la muestra siendo procesada, la cantidad de subproductos que se liberan en la cámara, la temperatura del aire, etc. La manera más simple de verificar el flujo de aire suficiente, es detener
10 periódicamente el procesamiento para observar las superficies de la cámara para observar si están húmedas. Al mismo tiempo, es útil observar la fractura y cualquier posible engrisamiento o enrojecimiento de los carbones que podría resultar de manchas calientes. Finalmente, si se
15 observa que los subproductos salen de la cámara vía la tubería o espirales de captura, el flujo de aire es probablemente adecuado.

- Temperatura del carbón:

Para la reducción de la humedad únicamente, las
20 temperaturas superficiales del carbón deben mantenerse en o debajo de 100°C. Esto se verifica fácilmente con detectores de temperatura (infrarrojos) portátiles o de manera remota con sondas térmicas colocadas dentro de la cámara de proceso.

- Uso de gas inerte:

Si las temperaturas del carbón se mantienen en sus niveles recomendados para la reducción de humedad, no debe haber chamuscado y combustión, y no se requerirá gas inerte. En las modalidades en donde se utiliza gas inerte, puede hacerse fluir a través de la cámara, una velocidad de al menos 424.755 litros (15 pies cúbicos) por hora.

- Hidrógeno:

El gas hidrógeno no es necesario para la reducción de humedad. Sin embargo, el gas hidrógeno puede suministrarse durante la fase de reducción del azufre del proceso.

- Sistemas de medición en línea para la humedad, cenizas, azufre, minerales en trazas y temperaturas:

En la práctica, los sistemas de medición y retroalimentación están acoplados a los parámetros del proceso, tales como potencia eléctrica, potencia electromagnética aplicada (y la capacidad de cambiar tanto el nivel de potencia como su ciclo de trabajo encendido/apagado), y el tiempo de procesamiento para asegurar que los niveles objetivo de las propiedades se alcanzan y no son sub o sobreprocesados.

Para el ejemplo dado en la presente, y si todo lo demás es como se recomendó anteriormente, únicamente la potencia electromagnética aplicada y el tiempo de

exposición requieren cambio, y únicamente las temperaturas superficiales necesitan verificarse.

- Pruebas de laboratorio de prueba internas y certificadas para el carbón de las propiedades de combustión:

Puesto que hay una correlación directa entre la pérdida del peso y la reducción en el por ciento de humedad, la toma de las mediciones del peso antes y después del procesamiento e incluso durante el procesamiento, debe ser parte del régimen de procesamiento. Finalmente, los laboratorios de prueba del carbón pueden proporcionar mediciones rápidas y exactas del por ciento de humedad y las kcal/kg (BTU/lb) para verificar además que se alcanzan los niveles seleccionados.

- 8) Estudio de los requisitos de permiso y regulatorios locales, estatales y federales, y sus impactos en el diseño y operación del sistema de proceso, incluyendo la recolección y manejo de los subproductos.

¿Es posible diseñar un sistema de proceso en seco y de una sola etapa que pueda cumplir con todos los requisitos mencionados anteriormente? En una palabra, sí. Pero antes de finalizar el diseño de un sistema de proceso inteligente, capaz de proporcionar las propiedades específicas buscadas para un carbón particular, es necesario primero estudiar cuidadosamente todos los

requisitos de permiso y regulatorios locales, estatales y federales para la ubicación en la cual se utilizará el sistema de proceso; estos requisitos pueden y con frecuencia, afectan tanto el diseño como la operación de un sistema de procesamiento de carbón. Después de tomar en cuenta esos requisitos, el sistema de proceso central mencionado anteriormente puede modificarse como se necesite.

Las minas y las plantas de servicios públicos alimentadas con carbón tienen diferentes conjuntos de requisitos, lo que con frecuencia resulta en diferencias en el diseño y operación de un sistema para las dos clases de ubicaciones de operación e incluso dentro de una clase dada. Por ejemplo, muchas plantas de servicios tienen que buscar la aprobación de antemano para manejar y quemar cualquier carbón con propiedades diferentes de los carbones aprobados actualmente para uso, incluso si los "nuevos" carbones están documentados como que son más limpios y más amigables con el medio ambiente. Esto puede requerir incluso que los sistemas de proceso se diseñen para cumplir con ciertos requisitos de combustión, de manera individual o colectiva, tales como emisiones restringidas de SO_2 o NO_x o CO_2 . Algunos de los requisitos son análogos al término utilizado con frecuencia "declaración del impacto ambiental". Los ejemplos de tales requisitos incluyen:

• Emisiones de líquidos, sólidos y gases del proceso:

Las emisiones de líquidos, sólidos y gases pueden manejarse por los elementos expuestos en la Figura 4.

5 Incluso un sistema que contiene todos los subproductos de este procesamiento debe certificarse para cumplir con los requisitos obligatorios de manejo y recolección.

• Olores que emanan del proceso:

La contención de los subproductos del proceso por sí misma, no elimina los olores, pero el olor debe reducirse al mínimo por el sistema de flujo de aire de los subproductos. Si hay olores residuales sustanciales, puede ser necesario agregar materiales vía el portador del aire para absorber o de otra manera reducir al mínimo los olores.

• Control del fuego y explosiones:

Están disponibles procedimientos y sistemas estándar para cumplir con estos requisitos, tales como detectores de temperatura, detectores de infrarrojo y sistemas de formación de imágenes.

• Control del polvo:

Aunque siempre es una preocupación en cualquier medio en que se maneje carbón, la generación de polvo está asociada principalmente con la entrada del carbón hacia y fuera de la cámara. Puesto que se anticipa que este

transporte del carbón será llevado a cabo vía el uso de transportadores en el sitio, existentes, el polvo externo debe ser mínimo. El polvo generado en el sistema será controlado por el sistema de manejo de los subproductos.

- 5 • Contaminación del aire (incluyendo neblina o niebla), materiales químicos y peligrosos:

Se realizarán pruebas de calificación preenvío para verificar que el sistema está libre de contaminación del aire o sustancialmente libre de contaminación. No se
10 utilizan o introducen materiales químicos o peligrosos en el sistema, a diferencia del posible uso de un gas inerte, que no se considera peligroso.

- Seguridad y contención de la radiación electromagnética:

15 Los niveles de seguridad para la exposición a la radiación de microondas son estrictos y están regulados, requiriendo que todos y cada uno de los sistemas de proceso que utilicen radiación de microondas esté certificado para cumplir con estos niveles y lineamientos. Muchos
20 fabricantes de sistemas de secado con microondas a gran escala cumplen estas regulaciones configurando sus sistemas de una manera que los hace imprácticos e inadecuados para utilizarlos con los altos rendimientos requeridos para el procesamiento del carbón.

25 Una solución es hacer el uso de uno de los

801

fabricantes de sistemas de microondas que se enfocan en reducir al mínimo o contener completamente las microondas; es decir, que no tienen fugas detectables. Es importante notar que los materiales que salen de una cámara de microondas después del procesamiento todavía emiten algún nivel de radiación de microondas durante un corto periodo de tiempo incluso después de salir de que los sometan a microondas, incluyendo la comida que sale de los hornos de microondas de cocina, aunque esos niveles son muy bajos.

5

Además de los diseños de sistemas internos que impiden la salida de las microondas, uno puede cubrir los sistemas externamente con pantallas de metal y cinta metálica para conductos colocadas de manera apropiada. En cualquier caso, se realizan inspecciones regulares y sistemáticas en busca de fuga de microondas para asegurar los sistemas de seguridad no se han comprometido. Pueden comprarse o diseñarse y construirse detectores de fuga de microondas para una aplicación específica.

10

15

9) Modificación del sistema de proceso central

20 El sistema de proceso central se modifica en el diseño, conforme se necesite, basándose en la información de 8, anterior.

10) Diseño, fabricación y prueba de cada uno de los cuatro principales subsistemas del proceso.

25 Cada uno de los cuatro principales subsistemas

del proceso (es decir, sistema de precalentamiento, sistema de radicación electromagnética, sistema de medición y retroalimentación de múltiples parámetros y sistema de manejo de los subproductos) se diseña, construye y prueba de manera separada.

11) Integración y prueba funcional de los cuatro subsistemas cuando operan juntos.

El siguiente paso es integrar y probar funcionalmente los cuatro subsistemas cuando operan juntos, seguido por pruebas completas de calificación y verificación del sistema de proceso de extremo a extremo, las pruebas de extremo a extremo se realizan utilizando las muestras del lote de carbón para las cuales se diseñó el proceso.

Los pasos 10 y 11, anteriores, ofrecen una metodología probada, efectiva y estandarizada para utilizarse cuando se desarrolla un sistema principal que consiste de varios subsistemas y se utiliza en entornos de laboratorio y comerciales e incluso en medios en el océano, la atmósfera y el espacio, en donde el equipo con frecuencia, debe operarse de manera remota.

12) Instalación en el sitio

Después de la terminación exitosa de la prueba de desempeño del sistema de proceso completo, el sistema de proceso inteligente diseñado a la medida y probado

completamente, se envía a su ubicación de operación pretendida. Tras la llegada, el sistema se prueba adicionalmente para asegurar que no hay cambios debido al manejo y envío. A continuación, el sistema de proceso se mueva a su posición pretendida y se integra con el sistema de manejo del carbón existente en el sitio o los cambios apropiados al mismo, conexiones eléctricas, agua, y sistemas que generan aire o gas inerte, conforme se requiera, y se prueba adicionalmente para ponerse en servicio.

B. Control, Verificación y Manejo

Si no se controla para alterar la secuencia de eligiendo la frecuencia u otros parámetros del proceso, el proceso resulta en el fracturado de la matriz del carbón, seguido por la liberación de la humedad y a continuación la ceniza y a continuación el azufre. Para algunos carbones, las etapas son separadas y distintas, mientras que para otros, hay una superposición en las etapas, por ejemplo, para algunas, las emisiones de ceniza y azufre empiezan mientras que la humedad se está liberando todavía.

Para proporcionar alguna medida y verificación de toda la uniformidad del procesamiento, se miden las temperaturas superficiales del carbón en varias posiciones en la cámara de proceso, conforme el carbón se procesa.

Debido a que los carbones no son uniformes en tamaño, forma o propiedades y no están distribuidos de manera uniforme en el transportador, tales mediciones de temperatura pueden considerarse como que proporcionan en promedio, datos representativos. Además, debido a que los carbones se someten a fractura, algunas de las temperaturas medidas pueden aproximarse a las temperaturas internas, las cuales son generalmente algo más altas. El intento es tener la capacidad de evitar grandes variaciones en la temperatura, ajustando la potencia de las microondas conforme se necesite en tales regiones.

La humedad liberada del carbón puede recolectarse por cualquiera de varios métodos, tales como, de manera no exclusiva:

- la humedad puede condensarse en las paredes de la cámara y forzarse hacia abajo por aire seco hacia el sistema de recolección y almacenamiento debajo de la cámara de proceso;
- el aire cargado con humedad puede dirigirse fuera de la cámara mediante aire seco forzado (presión positiva) a lo largo del eje de la cámara de proceso, y la humedad en el aire puede recolectarse entonces mediante condensación; y
- el aire cargado con humedad puede extraerse de la cámara mediante aire seco forzado (presión negativa),

y la humedad en el aire puede recolectarse entonces mediante condensación, los pequeños particulados (no finos) y los gases son dirigidos con aire a una celda de captura en donde se recolectan, separan y almacenan.

5 Si la deshumidificación y las kcal/kg (BTU/lb) incrementadas son los cambios primarios o únicos en las propiedades que se buscan, entonces puede incluirse un analizador de la humedad en línea y un sistema de retroalimentación. Este sistema puede determinar cuando el
10 procesamiento ha alcanzado los niveles de humedad que proporcionarán las kcal/kg (BTU/lb) deseadas, y el sistema puede cambiar o detener el procesamiento, como se necesite.

Si las reducciones específicas en la ceniza y el azufre son los cambios primarios que se buscan, entonces
15 puede incluirse un analizador del nivel de identificación de químicos (azufre y ceniza) en línea. Como antes, puede utilizarse opcionalmente un sistema de retroalimentación para cambiar o detener el procesamiento. Opcionalmente, también está disponible para el uso una estación de toma de
20 muestras, de pesado y de prueba en línea, conforme se necesite.

En la práctica y para la mayoría de los carbones, se requiere una toma de muestras y pruebas mínimas, en o fuera de línea y el operador del proceso es capaz de
25 utilizar la experiencia previa para juzgar cuando se han

alcanzado los niveles deseados de la propiedad del carbón. Los carbones salen de la cámara de proceso hacia una rampa de descarga que está diseñada para ajustarse a la ubicación del sistema y la velocidad de flujo del proceso (toneladas por hora); por ejemplo, la rampa puede estar diseñada para alimentar una estación de carga, acoplarse a otro transportador, etc.

El resultado total es que esta metodología del proceso, con su capacidad para diseñar a medida sistemas, puede producir carbones diseñados, es decir, cualquier grado o forma de carbón puede procesarse para volverse un carbón nuevo y diferente con cualquiera de una amplia variedad de propiedades disponibles para la selección del cliente. Dicho de manera diferente, estas metodologías pueden utilizarse para crear nuevos carbones con una amplia variedad de propiedades del combustible mejoradas, no encontradas en los carbones de materia prima, no procesados.

C. Modalidad del Método

La Figura 3 ilustra un diagrama de flujo de un método (100) ejemplar. El método (100) ilustra los pasos del manejo y procesamiento para mejorar las características de la combustión de un combustible tal como carbón u otro combustible basado en carbono. El método (100) puede

ejecutarse o realizarse de otra manera por cualquiera de
varios sistemas y aparatos. El método (100) se describe, a
continuación, como llevado a cabo por un sistema (200),
mostrado esquemáticamente en la Figura 4, a manera de
ejemplo; y se hace referencia a varios elementos del
sistema (200) en la explicación del método ejemplar de la
Figura 3. La invención puede implementar, e incorporarse
en otros sistemas y procesos también. Se hará referencia
ahora con detalle a las modalidades ejemplares de la
invención, como se ilustra en los dibujos acompañantes.
Los mismos números de referencia se utilizan a través de
los dibujos y en la siguiente descripción para referirse a
partes iguales o similares.

Cada bloque mostrado en la Figura 3 representa
uno o más pasos llevados a cabo en el método (100)
ejemplar. En el bloque (102), el método (100) ejemplar
empieza en el bloque (102), en donde el combustible de
materia prima se recibe para el procesamiento. Por
ejemplo, el carbón de materia prima puede recibirse para el
procesamiento por el método (100) en la sección del
combustible de materia prima (202), mostrado en la Figura 4
y descrito a continuación.

En algunos casos, el combustible de materia prima
es dimensionado. El combustible de materia prima se
dimensiona a un tamaño predeterminado mediante un

dispositivo de triturado. Por ejemplo, el carbón de materia prima puede dimensionarse por la sección del combustible de materia prima (202), como se muestra en la Figura 4 y se describe a continuación.

5 El bloque (102) es seguido por el bloque (104), en el cual se determina la composición característica del combustible. El combustible se analiza para determinar una composición característica tal como el contenido de humedad del combustible. Por ejemplo, puede utilizarse un
10 analizador de la humedad con la sección del transportador del proceso (204) y/o el sistema de retroalimentación (206) (mostrado en la Figura 4), para determinar el contenido de humedad del combustible.

El bloque (104) es seguido por el bloque (106),
15 en el cual las características del carbón deseadas por el consumidor se determinan. Las propiedades deseadas del combustible y la composición del carbón de materia prima se utilizan para establecer los parámetros de "diseño" del sistema de proceso elegido. La potencia y duración de la
20 energía aplicada pueden basarse en la característica deseada de la combustión, tal como el contenido de humedad, y también puede basarse en la velocidad relativa o el rendimiento del combustible, con relación a un generador de radiación electromagnética (208) (mostrado en la Figura 4).
25 La "duración" de la energía aplicada puede estar en la

88/

forma de un ciclo de trabajo, por lo que la potencia se cicla en encendido y apagado para proporcionar un nivel de potencia promedio reducido. En el ejemplo anterior, el contenido de humedad del carbón de materia prima y las propiedades deseadas se utilizan para determinar la cantidad de energía de onda y otros parámetros del proceso necesarios para crear carbones de "diseñador". Utilizando un analizador de humedad, el sistema de retroalimentación (206) puede verificar el combustible y ajustar de manera selectiva la potencia y duración de la energía electromagnética para obtener el nivel de humedad deseado.

En la modalidad del sistema descrita a continuación, una serie de generadores de radiación electromagnética (similares a (208)) puede activarse para proporcionar una cantidad seleccionada de energía electromagnética a un lecho de carbón en un lecho transportador o el transportador del proceso (204) que pasa adyacente a los generadores de radiación electromagnética, de manera que el lecho de carbón es penetrado de manera suficiente para eliminar una cantidad particular de humedad, ceniza y azufre del lecho de carbón.

El bloque (106) es seguido por el bloque (108), en el cual la frecuencia electromagnética, la cantidad de energía de onda y los gases inertes se aplican al combustible. Como se describe en la modalidad del sistema

a continuación, la serie de generadores de radiación electromagnética puede activarse para aplicar una cantidad específica de energía de onda al combustible.

El bloque 108 es seguido por los bloques (110),
5 (112) y (114), en donde los subproductos se eliminan o se recolectan de otra manera del combustible. Como resultado de la energía electromagnética aplicada al combustible por un generador de radiación electromagnética (208), uno o más subproductos tales como el exceso de humedad, ceniza o
10 azufre pueden generarse del combustible. Estos subproductos se recolectan en uno de los bloques (110), (112), (114), como se describe además a continuación. Por ejemplo, en el bloque (110), una cantidad de humedad se elimina o se recolecta de otra manera del combustible. En
15 el bloque (112), una cantidad de azufre se elimina o se recolecta de otra manera del combustible. En el bloque (114), otros subproductos se eliminan o se recolectan de otra manera del combustible. Como un resultado directo de la energía electromagnética aplicada al combustible, las
20 características de la combustión del combustible se mejoran. El combustible mejorado se recolecta por o se recibe de otra manera en la sección del combustible mejorado (116).

D. Parámetros de Procesamiento del Combustible

Los tamaños y formas, dureza, volatilidad, contenido de carbón, minerales en trazas, combustión y otras propiedades de los carbones varían ampliamente. Por lo tanto, los parámetros del proceso de carbón elegidos también variarán ampliamente, variando de acuerdo con los siguientes factores: la cantidad de carbón a ser procesado, el tiempo y el lugar disponibles para el procesamiento, si el carbón es procesado en el modo por lotes o de manera continua o en alguna combinación de lo mismo, los propósitos para los cuales se está realizando el procesamiento y los usos pretendidos para el carbón. Dicho de manera diferente, no pueden hacerse generalizaciones fácilmente por los parámetros del proceso, aunque pueden identificarse los intervalos adecuados para utilizarse con el proceso, como se expone a continuación.

1) Energía de onda electromagnética

Las frecuencias adecuadas de los generadores electromagnéticos puede utilizarse en el intervalo del proceso de por debajo de 100 MHz a por encima de 20,000 MHz. Puede utilizarse una sola frecuencia o múltiples frecuencias, de manera simultánea o alternada, o en etapas. La frecuencia o frecuencias pueden ser continuas o por impulsos o con ciclo de trabajo (es decir, temporizadas

para potencia encendida y potencia apagada de la misma manera en que funcionan los hornos de microondas de cocina).

5 2) Potencia

La potencia de los generadores electromagnéticos puede ser de 100 watts a 100,000 watts, extendiéndose a megawatts.

10 3) Tiempos de procesamiento

Los tiempos de encendido de la radiación electromagnética, adecuados, varían de 5 segundos a 45 minutos, dependiendo de los objetivos del procesamiento.

15 4) Capacidad

20 Cuando el sistema está diseñado para operar en el modo por lotes, la capacidad del sistema puede variar de gramos (onzas) a toneladas. En los sistemas de procesamiento continuo, decenas de kilos (libras) a cientos de toneladas por hora pueden procesarse. La atmósfera de la cámara puede ser oxígeno seco para proporcionar más uniformidad en la energía de onda y en los resultados del proceso. Una atmósfera de gas inerte evita la producción de óxidos tales como SO_2 , CO_2 y NO_x durante el procesamiento
25 y reduce o elimina el riesgo de chamuscado y/o combustión.

5) Temperatura del carbón y el aire

La temperatura del carbón en su superficie y en su interior puede variar de la ambiental a aproximadamente 250°C durante el procesamiento.

Los parámetros del proceso relacionados son las temperaturas superficiales de los carbones que se están procesando y la temperatura del aire en el interior de la cámara de proceso. El procesamiento con radiación electromagnética en un entorno de prueba de laboratorio se evalúa mejor y se entiende mejor si se hacen mediciones periódicas de las temperaturas superficiales de los carbones, estas mediciones pueden hacerse fácilmente con detectores de infrarrojo portátiles o con sondas de temperatura colocadas dentro de la cámara. Para el procesamiento continuo del carbón, a gran escala, tal medición y verificación de la temperatura es aún más importante. Los umbrales de temperatura se determinan de manera separada para cada conjunto diferente de carbones a ser procesados y dependen de los objetivos del procesamiento (por ejemplo, reducción de la humedad sola o combinada con reducciones adicionales). Los carbones con alto contenido de humedad absorberán la radiación electromagnética más fácilmente que los carbones con bajo contenido de humedad, y por lo tanto, alcanzarán más

127

rápidamente cualquier temperatura dada. El alcanzar o exceder las temperaturas umbrales de la ignición puede resultar en la pérdida de kcal/kg (BTU/lb) de los carbones, incluso si se evita la combustión mediante el uso de gas inerte. Por lo tanto, los sistemas de procesamiento se proporcionar con sistemas de medición de la temperatura y de retroalimentación acoplados, para asegurar que, si las temperaturas alcanzan estos umbrales, los parámetros del proceso, tales como la potencia de microondas aplicada o el tiempo de residencia o el flujo de aire, se activan para modificarse inmediatamente. Tales umbrales de temperatura en pueden determinarse en el laboratorio para cada conjunto de propiedades del lote de carbón significativamente diferentes; de manera alterna, el umbral de la temperatura puede determinarse de la experiencia del procesamiento.

Otro tipo de umbral de la temperatura es aquél asociado con los cambios en los materiales, con el azufre siendo de particular interés aquí. La forma predominante en el vapor de azufre se funde a 119°C y es un líquido amarillo transparente a temperaturas de hasta 160°C, en donde el azufre experimenta una transformación molecular por lo que los átomos de azufre producen un líquido viscoso oscuro. Dicho de manera diferente, las temperaturas por debajo de 119° o por encima de 160°C resultan en

propiedades físicas y químicas muy diferentes del azufre libre o el azufre unido en el carbón y debe tomarse en cuenta si uno va a ser capaz de reducir el contenido de azufre en cualquier manera predecible. Hemos observado el azufre en cada una de estas formas diferentes durante las pruebas del proceso. Como un ejemplo más, un lote de carbón de muchas muestras de carbones emitió nubes densas de humos amarillos en el transcurso de segundos del inicio del procesamiento, incluso antes de que se liberara la humedad. Ningún otro carbón probado respondió de esta manera. Consideraciones de prueba preprocesamiento similares se aplican a la ceniza, la cual típicamente precede al azufre al ser liberada mediante esta metodología de procesamiento. Puede ajustarse un límite de temperatura máxima a aproximadamente 200°C para conveniencia y debido a que temperaturas más altas pueden introducir otros cambios indeseados al carbón o pueden causar que las propiedades del carbón cambien demasiado rápido para el control fácil.

Finalmente, la detección de una temperatura de la cámara mayor de la esperada podría ser un indicador de la combustión y posiblemente plantee un aspecto de seguridad, así como un aspecto del procesamiento (es decir, proporciona más razones para incluir sistemas de verificación de la temperatura y de retroalimentación como una parte integral de todos los sistemas de procesamiento).

También pueden utilizarse sistemas para la verificación visual y la formación de imágenes remotas para asegurar que hay redundancia para cumplir con ambos aspectos de seguridad y procesamiento.

5

6. Flujo de aire

El flujo de aire es un parámetro importante y de propósitos múltiples. El aire seco, filtrado de partículas es particularmente adecuado, con la cantidad de flujo de
10 aire que depende de la configuración y el tamaño de la cámara de proceso y de cómo entra y sale el carbón de la cámara. El flujo de aire controlado ayuda a mezclar el aire en la cámara de proceso, asegurando una distribución más uniforme del calentamiento en la cámara. El aire es el
15 portador para los subproductos del proceso tales como la humedad, materia particulada fina y cualesquier gases que resulten del procesamiento. Un flujo de aire suficiente impide cualquier posibilidad de formación de arco eléctrico o de chispas durante el procesamiento, en los casos en
20 donde el lote siendo procesado (es decir, la carga) es suficientemente grande para el tamaño de la cámara, forma y niveles de potencia utilizados.

Sin flujo de aire, la humedad se condensa en las paredes de la cámara, con varios efectos negativos. Las
25 superficies húmedas absorben algo de la radiación

electromagnética y por lo tanto, reducen el nivel de eficiencia total del sistema, requiriendo un procesamiento más largo. Además, la humedad gotea en el carbón y resulta en un calentamiento no uniforme y en la penetración no uniforme de la radiación electromagnética a través de los carbones, haciendo más difícil obtener resultados que sean consistentes o representativos de todo el lote de carbón siendo procesado. El resultado es que algunos de los carbones hacia el fondo del lote siendo procesado, no son penetrados completamente por la radiación de microondas y no se fracturarán al mismo grado que los carbones más cercanos a la parte superior del lote, y por lo tanto, no tendrán las mismas cantidades de constituyentes liberados. Finalmente, el calentamiento no uniforme mencionado anteriormente resultaría en las llamadas manchas calientes, que son un precursor del chamuscado, la ignición y la combustión, todo lo cual debe evitarse durante el procesamiento.

Con el flujo de aire encendido y sin utilizar un sistema de recolección y almacenamiento de los subproductos, puede verse el vapor que sale del proceso. Para el procesamiento a corto plazo sólo, puede verse el vapor de agua incoloro que sale de la cámara durante el procesamiento. Cuando el procesamiento es continuo y/o hace uso de otros parámetros del proceso para eliminar

otros constituyentes, el vapor cambiará de color, el vapor tiene primero un tinte amarillento y un olor que es característico de la presencia de azufre y compuestos de azufre. El procesamiento continuo resultará en gases con color más oscuro y líquidos que portan otras formas de azufre y ceniza que están siendo liberadas. El azufre puede liberarse, por ejemplo, a una temperatura en el intervalo de 130° a 240°C. Si se procesa durante el tiempo suficiente, se liberarán finalmente los hidrocarburos y alquitranes, los últimos dos son indeseables puesto que evidenciarían la pérdida del contenido de calor de los carbones.

7) Gas inerte

El uso de un gas inerte en la cámara es opcional. En donde se utiliza un gas inerte en la cámara, la cantidad de gas inerte depende de los objetivos del procesamiento.

El gas inerte (de manera preferida nitrógeno seco o argón) sirve para varios propósitos. Cualquiera de varios factores puede resultar en el sobrecalentamiento de una parte del lote de carbón o muestra o una parte de un trozo de carbón a un nivel en que podría haber ignición y combustión. El uso de una atmósfera de nitrógeno o argón en la cámara evitaría cualquier quemado del carbón durante el procesamiento. El nitrógeno está fácilmente disponible

en forma gaseosa, seca, en tanques y medido para el uso en el laboratorio, y de 0.566 a 0.707 m³/hora (20 a 25 CFH (pies cúbicos por hora)) proporciona suficiente flujo para transportar los subproductos líquidos y gaseosos durante el procesamiento en las cámaras de microondas pequeñas, del tamaño para cocina, mientras que se evita la combustión. Las cámaras más grandes requieren volúmenes mayores aumentados de manera apropiada de flujo de nitrógeno. Los sistemas de presión oscilante comercialmente disponibles están disponibles y en práctica común en otras aplicaciones; estos sistemas toman el nitrógeno directamente del aire cuando se requieren grandes cantidades, tal como para el procesamiento del carbón en una mina o instalación alimentada con carbón. El nitrógeno es el gas inerte de elección debido a su amplia disponibilidad y costo menor comparado con el argón, pero si uno asegura que el procesamiento del carbón se detiene antes de alcanzar las fases indeseables del hidrocarbano, y especialmente la del alquitrán, en donde pueden formarse compuestos peligrosos de compuestos químicos que resultan de exceder los umbrales de temperatura o del procesamiento durante mucho tiempo. El uso de una atmósfera de gas inerte en la cámara también evita la producción de óxidos tales como SO₂, CO₂ y NO_x durante el procesamiento.

8) Hidrógeno

El uso de hidrógeno (por ejemplo, introducido vía un generador de hidrógeno) en la cámara es opcional. El hidrógeno puede introducirse para controlar además los cambios que ocurren en el carbón durante el procesamiento.

9) Presión atmosférica en la cámara de proceso

La presión en la cámara de proceso es típicamente de una atmósfera, pero los parámetros del proceso pueden alterarse conforme/si se necesita cuando se procesa a una elevación (por encima del nivel del mar). También se aplica vacío en algunos casos.

10) Sistemas de medición en línea

Los sistemas de medición en línea pueden proporcionarse para medir la humedad, ceniza, azufre, minerales en trazas y temperaturas en la cámara. Todos están diseñados para proporcionar retroalimentación para ajustar los parámetros del proceso, conforme se necesite, para asegurar que se alcanzan los niveles objetivo y no se exceden, y por lo tanto, que el carbón no se sub o sobreprocese.

III. Aparatos - Modalidad A

A. Sección del Combustible de Materia Prima

El sistema (200), mostrado en la Figura 4, incluye una sección de combustible de material prima (202).

5 La sección del combustible de materia prima (102) puede ser una charola de almacenamiento para recoger el carbón de materia prima o de otra manera recibir el carbón de materia prima a ser procesado por el aparato. Típicamente, el combustible de materia prima se recibe de una ubicación

10 remota, tal como una mina de carbón y se recolecta en la sección del combustible de materia prima (202), hasta que se necesita para el procesamiento adicional. El combustible de materia prima, tal como la lignita, antracita, carbones bituminosos, subbituminosos, con bajo

15 contenido de azufre, con alto contenido de azufre y mezclados, pueden almacenarse en el almacenamiento del combustible de materia prima hasta que se necesita. Las cantidades seleccionadas de combustible de materia prima se dimensionan por la sección del combustible de materia prima

20 (202) para el procesamiento por otras partes del sistema (200). La sección del combustible de materia prima (202) también puede incluir una serie de uno o más dispositivos de trituración que rompen trozos relativamente grandes de carbón en piezas más pequeñas de carbón. La sección del

25 combustible de materia prima (202) puede incluir equipo tal

como, de manera no exclusiva, un pulverizador, un triturador de carbón, un molino de bolas o un molino. A manera de ejemplo, puede utilizarse un triturador de carbón para dimensionar el carbón de materia prima a
5 aproximadamente un diámetro de 10 cm (cuatro pulgadas). Los tamaños más grandes o más pequeños de carbón u otro combustible pueden utilizarse de acuerdo con varias modalidades de la invención.

10 **B. Sistemas Interactivos Adicionales**

La sección del combustible de materia prima (202) es seguida por una sección del transportador del proceso (204). La sección del transportador del proceso interactúa con la sección del combustible de materia prima (202). para
15 recibir una cantidad predeterminada del combustible a ser procesado.

La sección del transportador del proceso (204) está también interconectada con la sección del sistema de retroalimentación (206), la sección del generador de
20 radiación electromagnética (208), la sección de sistema de manejo del aire (210) y la sección del combustible procesado (212).

C. Sistema de Retroalimentación

25 La sección del sistema de retroalimentación (206)

interactúa con el transportador del proceso para determinar una característica del combustible, tal como el porcentaje de humedad o el porcentaje de ceniza en el combustible. La sección del sistema de retroalimentación (206) incluye un
5 detector de humedad (214), un detector de temperatura (216), un analizador de la ceniza (218) y un analizador espectroquímico (220). Por ejemplo, utilizando algunos o todos de estos componentes, uno puede determinar la cantidad y la duración aproximadas de la energía de
10 microondas necesaria para eliminar una cantidad particular de humedad del combustible. Otras características de la composición que pueden determinarse son las cantidades específicas de ceniza, azufre, hidrógeno, carbono, nitrógeno y otros compuestos o elementos en un combustible.

15 Nótese que otros dispositivos o métodos son adecuados para determinar una o más características de la combustión de un combustible. Tales dispositivos y métodos pueden utilizarse en línea y fuera de línea. Tales dispositivos y métodos incluyen, de manera no exclusiva,
20 analizadores de humedad, analizadores de ceniza, detectores de temperatura y analizadores espectroquímicos.

La sección del sistema de retroalimentación (206) y la sección del transportador del proceso (204) también pueden interactuar con una sección de control del proceso
25 (222). La sección de control del proceso (222) interactúa

con la sección del generador de la radiación electromagnética (208) para proporcionar el control de la retroalimentación u otras instrucciones de la sección del sistema de retroalimentación (206) para controlar la
5 sección del generador de la radiación electromagnética (208).

D. Generador de la Radiación Electromagnética

La sección del generador de la radiación
10 electromagnética (208) aplica energía de microondas al combustible en la sección del transportador del proceso (204). El generador de radiación electromagnética (208) incluye una serie de magnetrones colocados con relación al combustible en la sección del transportador del proceso
15 (204), los magnetrones dirigen la energía de la radiación electromagnética hacia el combustible, basándose en las características predeterminadas, tales como el porcentaje de humedad que se busca.

Por ejemplo, cada uno de los magnetrones de la
20 sección del generador de la radiación electromagnética (208) puede controlarse en términos de ajustar la potencia, duración y otros parámetros para proporcionar una cantidad o calidad suficiente de energía de onda para penetrar un combustible y para eliminar una cantidad seleccionada de
25 humedad. Los generadores de la radiación electromagnética

proporcionan una cantidad específica, predeterminada de energía de onda a un combustible, de acuerdo con la invención. Utilizando la información recolectada por la sección del sistema de retroalimentación (206), tal como

5 las mediciones del contenido de humedad, la sección de control del proceso (222) puede ajustar de manera selectiva cada uno de los generadores para proporcionar una cantidad particular de energía al lecho de carbón en la sección del transportador del proceso (204) hasta que se elimina una

10 cantidad específica de humedad del carbón.

Nótese que otros dispositivos o métodos pueden utilizarse como medios de la energía de onda para aplicar una cantidad predefinida de la energía de onda a un combustible. Tales dispositivos y métodos incluyen, de

15 manera no exclusiva, magnetrones, klistrones y girotrones.

Nótese que las frecuencias menores de energía electromagnética penetran más profundamente en un material combustible tal como carbón, que las frecuencias más altas. Un generador de la radiación electromagnética adecuado para

20 el sistema (200) genera una salida de frecuencia de entre 100 MHz y 20 GHz. Otras frecuencias de energía de onda pueden utilizarse de acuerdo con otras modalidades de la invención.

La potencia de la energía de onda puede ser por

25 impulsos o continua. En el ejemplo proporcionado en lo

anterior, los generadores pueden proporcionar energía de onda a potencia continua. Para regular la energía de onda aplicada a un combustible, la salida de la energía de onda también puede ser por impulsos a un intervalo de tiempo regular a una frecuencia constante. La potencia por fuente en las modalidades particulares es de al menos 15 kW a una frecuencia de 928 MHz o menor y en otras modalidades es de al menos 75 kW a una frecuencia de 902 MHz o más.

Además, cada uno de los generadores puede controlarse basándose en una velocidad de "rendimiento" de un combustible particular que es transportado dentro del intervalo de la energía de onda producida por una serie de generadores. La velocidad de rendimiento puede definirse como la velocidad de una cantidad particular de combustible a través del reactor de onda durante un periodo particular de tiempo. Por ejemplo, el rendimiento de un combustible, tal como el carbón, puede ser de 90-180 kg (200 a 400 libras) por minuto.

Nótese que cada tipo de combustible puede tratarse con cantidades y calidades variables de energía electromagnética, dependiendo del tipo de combustible, la condición del combustible, y otras características del medio del combustible o del combustible mismo.

E. Sistema de Manejo del Aire

La sección del sistema de manejo del aire (210) proporciona la recolección del subproducto para la sección del transportador del proceso (210). El sistema de manejo del aire (210) incluye una sección de recolección/almacenamiento de la humedad (224), una sección de recolección/almacenamiento de gas (226) y una sección de recolección/almacenamiento de los subproductos (228). La sección del sistema de manejo del aire (210) recolecta y almacena los subproductos del combustible procesado. Por ejemplo, la aplicación de energía electromagnética al carbón de materia prima crea vapor de agua y agua condensada en la sección del transportador del proceso (204). La sección de recolección/almacenamiento de la humedad (224) recolecta el agua condensada para el almacenamiento y el uso posterior. El vapor de agua y los gases pueden recolectarse por la sección de recolección/almacenamiento de gases (226) para el uso posterior. Otros subproductos de la sección del transportador del proceso (204) se recolectan por la sección de recolección/almacenamiento de los subproductos (228) para el uso posterior.

F. Aparato Postprocesamiento

El resto del combustible procesado de la sección

del transportador del proceso (204) se transfiere o se recolecta de otra manera en la sección del combustible procesado (212). Tales dispositivos pueden ser, de manera no exclusiva, una carola, carro con rieles, pila de almacenamiento o transportador que transporta directamente a un proceso de combustión (no mostrado).

El combustible de la sección de combustible procesado (212) puede utilizarse entonces en un proceso de combustión en, por ejemplo, una combinación de un quemador de combustión y una caldera de vapor. El combustible procesado de la invención también puede utilizarse en otros procesos de combustión convencionales.

G. Alimentador y Sistema Transportador

La Figura 5 es una vista en perspectiva de un sistema transportador (300) existente, que puede modificarse de acuerdo con la invención. El sistema transportador (300) mostrado es un transportador Slipstick™ diseñado y construido por Triple/S Dynamics, Inc. El sistema transportador (300) mostrado puede utilizarse o incluirse de otra manera con la sección del transportador del proceso (204) mostrada en la Figura 4. Varios aparatos de acuerdo con la invención pueden construirse utilizando el sistema transportador mostrado en la Figura 5. Otros sistemas transportadores también pueden utilizarse de

acuerdo con las modalidades de la invención.

Las Figuras 5-10 ilustran un aparato (400) ejemplar, de acuerdo con la invención. El aparato (400) puede estar integrado en cualquiera de varios sistemas y
5 realiza varios métodos de acuerdo con las modalidades de la invención. A manera de ejemplo, el aparato 400 puede incorporarse en o utilizarse de otra manera con el sistema (200) descrito anteriormente. Se hace referencia a varios elementos del sistema (200) al explicar el aparato ejemplar
10 de las Figuras 5-12. Además, a manera de ejemplo, el método (200) descrito anteriormente puede llevarse a cabo por el aparato (400) mostrado en las Figuras 5-12. El aparato (400), como se muestra en las Figuras 5-12, incluye un montaje de alimentación (402), un componente de
15 accionamiento (404), un montaje transportador (406) y un componente del reactor (408). El montaje de alimentación (402) está adaptado para recibir un combustible, tal como el carbón predimensionado, y está adaptado además, para dirigir el combustible hacia el componente del reactor
20 (406). El componente de accionamiento (404) está adaptado para transportar el combustible a través del componente del reactor (406). El componente del reactor (406) está adaptado para aplicar una cantidad específica de energía electromagnética al combustible. Las varias partes (402),
25 (404), (406), (408) y funciones del aparato (400) se

describen con mayor detalle a continuación.

La Figura 6 ilustra un montaje de alimentación (402) para el aparato (400). El montaje de alimentación (402) se asienta justo por encima del extremo de entrada de la cámara del transportador hacia delante del mecanismo de accionamiento slipstick. El montaje de alimentación (402) incluye una sección de entrada (418), una sección de transición (420) y una sección de adaptación (422). El montaje de alimentación (402) y sus secciones respectivas (418), (420), (422) se fabrican típicamente de una placa de aluminio de aproximadamente 3.2 mm (0.13 pulgadas) de espesor. Los arreglos alternos para un montaje de alimentación pueden diseñarse de acuerdo con la invención, dependiendo de la capacidad de procesamiento del sistema (200). La sección de entrada (418) está dimensionada para recibir el combustible desde la sección del combustible de materia prima (202) de la Figura 4. En el ejemplo mostrado, la sección de entrada (418) es un embudo que tiene una sección transversal con forma cuadrada que se estrecha de un extremo de medición del combustible hacia un extremo de la sección de transición. Nótese que la sección de entrada (418) puede tener configuraciones, formas y tamaños alternos, dependiendo de la sección del combustible de materia prima (202), la capacidad de procesamiento del sistema (200) y/o la forma de la sección de transición

(420).

La sección de transición (420) está dimensionada para recibir el combustible predimensionado de la sección de entrada (418), descrito anteriormente. En el ejemplo
5 mostrado, la sección de transición (420) es un conducto con una sección transversal con forma cuadrada consistente, desde un extremo de la sección de entrada hacia un extremo de la sección de adaptación. Un conjunto de compuertas deslizantes 416 puede instalarse en o cerca de un extremo
10 de la sección de entrada y un extremo de la sección de adaptación para proporcionar el control del flujo de combustible desde la sección del combustible de materia prima (202). Nótese que la sección de transición (420) puede tener configuraciones, formas y tamaños alternos,
15 dependiendo de la capacidad de procesamiento del sistema (200), la forma de la sección de entrada (418) y/o la forma de la sección de adaptación (422). Otros tipos de compuertas o válvulas pueden utilizarse en conjunto con el montaje de alimentación (402).

20 La sección de adaptación (422) está dimensionada para recibir el combustible de la sección de transición (420) descrita anteriormente. En el ejemplo mostrado, la sección de adaptación (422) es una pieza con forma cóncava que está adaptada para ajustarse con una abertura
25 correspondiente del componente de accionamiento (404).

Nótese que la sección de adaptación (422) puede tener configuraciones, formas y tamaños alternos, dependiendo de la capacidad de procesamiento del sistema (200), la forma de la sección de transición (420) y la sección de accionamiento (404).

En algunas modalidades, pueden instalarse juntas de expansión (no mostradas) con o utilizarse en conjunto con varios componentes (418), (420), (422) del montaje de alimentación (402) para adaptarse a cualquier expansión térmica del montaje de alimentación (402) o los componentes que operan adyacentes al montaje de alimentación (402).

El montaje transportador (406) incluye un lecho de transferencia (424). El lecho de transferencia (424) está adaptado para recibir un combustible del montaje de alimentación (402) y está adaptado además para transferir el combustible a lo largo de una porción de la longitud del lecho de transferencia (424) hacia un área de recolección (426) en un extremo opuesto del lecho de transferencia (424). El lecho de transferencia (424) mostrado es una abertura pasante, orientada horizontalmente. El lecho de transferencia (424) puede tener otras configuraciones, formas y tamaños, dependiendo de la capacidad del sistema (200).

Las Figuras 7-12 ilustran los aspectos de una cubierta del lecho de transferencia para el aparato

mostrado en la Figura 5. Como se muestra en las Figuras 7-12, el componente del reactor (408) incluye una cubierta del lecho de transferencia (500) y una serie de magnetrones (descritos en la Figura 4 como la sección del generador de la radiación electromagnética (208)). La cubierta del lecho de transferencia (500) está adaptada para cubrir la porción del extremo abierto del lecho de transferencia (424). La serie de magnetrones se instala a lo largo de la cubierta del lecho de transferencia (500) y se coloca para proporcionar energía electromagnética hacia el combustible localizado dentro del lecho de transferencia (424). Como se discutió anteriormente, la sección del sistema de retroalimentación (206), la sección de control del proceso (222) y el generador de radiación electromagnética (208) interactúan con la sección del transportador del proceso (204) para controlar, verificar y ajustar la cantidad de energía electromagnética proporcionada por la serie de magnetrones alineada a lo largo de la cubierta del lecho de transferencia (500) y el lecho de transferencia (424). Otras configuraciones de un componente del reactor (406), de acuerdo con la invención, pueden implementarse con el sistema (200) o sistemas similares.

Cuando se activa, el montaje transportador (406) aplica una fuerza repetitiva, de accionamiento al lecho de transferencia (424), y un combustible sólido, tal como

carbón, se alimenta a un extremo proximal del lecho de transferencia (424) desde el montaje de alimentación (402). Conforme cada fuerza de accionamiento se aplica al lecho de transferencia (424), la fuerza causa que el combustible se mueva hacia un extremo distal del lecho de transferencia (424) (hacia el punto de recolección (426)). Mientras el combustible se mueve a lo largo del lecho de transferencia (424), los magnetrones se activan para proporcionar una cantidad específica de energía electromagnética al combustible en el lecho de transferencia (342). La cantidad de energía electromagnética se basa, en parte, en la cantidad de combustible en el lecho de transferencia y la velocidad del movimiento del combustible a lo largo del lecho de transferencia (424), como se determina por la sección del sistema de retroalimentación (206) y/o la sección de control del proceso (222).

H. Aparato de Procesamiento por Lotes

Las Figuras 13-15 ilustran un aparato (1000) para el procesamiento por lotes de carbones u otros combustibles sólidos. Este aparato (1000) puede utilizarse en conjunto con o de manera separada del aparato mostrado en las Figuras 5-12. La metodología del proceso descrito por la Figura 3, específicamente el bloque (108), también puede implementarse por el aparato (1000). En el ejemplo

mostrado, los magnetrones (1002) se utilizan para aplicar una cantidad específica de energía electromagnética al combustible, tal como carbón colocado dentro del aparato. La energía de onda es dirigida hacia una guía de onda hacia la entrada de la WG (guía de onda) en el aparato. El aparato (1000) incluye aberturas que verifican la radiación electromagnética (1004) y una puerta frontal (1006) para cargar el carbón en la cámara. Pueden existir otras configuraciones de un aparato del proceso por lotes, de acuerdo con la invención.

IV. Aparatos - Modalidad B

Una modalidad de una planta piloto se ilustra en la Figura 16. La planta tiene como característica una alimentación de elevador de cubos (1102) acoplado con un elevador de cubos (1104) para transportar el carbón de materia prima al tanque de alimentación (1106). El tanque de alimentación (1106) está montado en sobre una válvula de doble efecto (1110), la tolva (1112) y la válvula de la tolva (1114). Cuando el carbón fluye del tanque de alimentación (1106) hacia abajo, a través de la válvula de la tolva (1114), el carbón es descargado en una hélice de transferencia (1116), que transporta el carbón a través de la cámara de procesamiento con microondas (1118). Tras salir de la cámara de procesamiento con microondas (1118),

el carbón fluye hacia un receptor del carbón (1120) y la válvula (1122) hacia los receptáculos de almacenamiento (1124).

La cámara de proceso (1118) también está equipada con drenajes (1126), que se alimentan hacia una línea de ventilación (1128). La línea de ventilación (1128) conduce a una trampa para el azufre (1130). Otra línea (1132) dirige el flujo desde la trampa para el azufre (1130) al condensador (1134), a continuación a un tanque de almacenamiento de agua (1136) y finalmente a un ventilador de escape y al sistema de control de las emisiones (1138).

El flujo de proceso a través de esta planta se describe brevemente, a continuación.

Primero, el ventilador de escape (1138) es arrancado para controlar el polvo que podría generarse por la operación de descarga. El ventilador de escape (1138) extrae aire del elevador de cubos (1104) a través del sistema y descarga el aire limpio resultante.

El carbón se suministra en tambores y es descargado utilizando un cargador de dirección de rodillos o un vehículo de horquilla equipado con un manejador/descargador de tambores hacia la tolva de alimentación del elevador de cubos (1102). El elevador de cubos (1104) transfiere las muestras de carbón al tanque de alimentación (1106) para que el lote se procese.

Dependiendo del tamaño de la corrida de prueba, varios tambores de 208.17 litros (55 galones) de carbón pueden descargarse hacia el sistema.

Una vez que el lote de carbón se carga en el
5 tanque de alimentación (1106), se inicia una purga con nitrógeno, y el tanque de alimentación (1106) se cierra para aislar el sistema de procesamiento. El ventilador de escape (1138) continúa operando durante el proceso, incluyendo el enfriamiento del sistema de proceso.

10 La cantidad de carbón transferida al tanque de alimentación (1106) se verifica con las celdas de carga (1108), las cuales también proporcionan la información de la velocidad de alimentación. La válvula de doble efecto (1110) se utiliza para controlar el flujo del tanque de
15 alimentación (1106) al sistema de transferencia de la materia prima. Para mantener el flujo de carbón a una velocidad constante, esta válvula (1110) se lanza hacia atrás y hacia adelante para mover pequeñas cantidades de carbón a la válvula giratoria de la tolva (1114). Los
20 cilindros hidráulicos de la válvula de doble efecto (1110) proporcionan suficiente potencia para mover la lanzadera a través del carbón y triturar terrones más grandes, como se requiera.

Puesto que los tamaños de la válvula de doble
25 efecto (1110) y las válvulas de la tolva (1114) se diseñan

para evitar el sobrellenado de la tolva (1112), la tolva (1112) puede girar continuamente y por lo tanto, proporcionar un suministro constante de carbón a la hélice de transferencia (1116). La hélice de transferencia (1116) actúa para nivelar la velocidad con la que se suministra el carbón a la cámara de procesamiento con microondas (1118).

Los sistemas de control y retroalimentación del proceso y el transportador, se diseñan para asegurar que los carbones reciben la dosis de irradiación requerida en promedio para sus tiempos de residencia en la cámara de procesamiento. Las velocidades de movimiento para cada una de las unidades de suministro (válvula de doble efecto (1110), válvula de la tolva (1114) y hélice de transferencia (1116)) se controlan de manera independiente para proporcionar una velocidad de alimentación constante del carbón al sistema de transferencia del material en la cámara de procesamiento con microondas (1118).

Antes de que alcance el extremo de salida de la cámara (1118), el carbón procesado entra a un área (no mostrada) en donde se deja que emita adicionalmente y se enfría antes de que se retire, para ayudar a controlar los olores y recolectar otras emisiones del carbón procesado. Después de que el producto se ha enfriado, la purga de nitrógeno se detiene, pero la operación del ventilador de escape (1138) continúa para capturar el polvo producido

durante la transferencia del carbón procesado a tambores. Una válvula hidráulica (1122) se utiliza para ayudar a transferir el carbón procesado en los tambores (1124). Después de que todo el carbón se ha procesado, enfriado y
5 transferido a los tambores (1124), el ventilador de escape (1138) se detiene.

Durante la operación de procesamiento, cualquier material volátil (agua, azufre, hidrocarburos, mercurio y otros volátiles) se eliminan de la cámara de procesamiento
10 con microondas (1118). El agua y otros fluidos que se drenan de las paredes "sobrearqueadas" de la cámara son capturados en la trampa para el azufre (1130). Los materiales volátiles (agua e hidrocarburos) se extraen a continuación de la trampa para el azufre (1130) a través
15 del condensador (1134) y caen hacia el tanque de almacenamiento de agua (1136). Las verificaciones para el mercurio se harán antes de que el material se libere.

Los residuos volátiles se extraen hacia un filtro para eliminar los particulados y un lecho de carbono para
20 eliminar los orgánicos, el mercurio y los olores antes de que el nitrógeno se ventile. El filtro y el lecho de carbono se localizan en el ventilador de escape y el control de las emisiones (1138). Los lechos de carbono se reciclarán o desecharán como un desecho peligroso.

V. Propiedades del Carbón Procesado

La variabilidad en las propiedades del carbón de materia prima se encuentra mediante la verificación constante y los ajustes apropiados de la retroalimentación relativos a los sistemas de procesos descritos en la presente, para asegurar la producción de un combustible sólido con propiedades uniformes. Algunas calderas alimentadas con carbón están limitadas por sus temperaturas máximas. En tales casos, la reducción de la humedad y la ceniza son un objetivo y se controlan para obtener las kcal/kg (BTU/lb) óptimas sin exceder las kcal/kg (BTU/lb) máximas y las temperaturas máximas asociadas para las calderas en cuestión.

Una nueva familia de carbones de diseñador de combustible sólido no encontrada en la naturaleza puede producirse vía estos métodos y aparatos. Estos carbones procesados pueden caracterizarse por uno o más de lo siguiente:

- contenido de humedad reducido a cualquier nivel deseado en cualquier grado de carbón hasta 1% o menos;

- kcal/kg (BTU/lb) incrementadas en cualquier grado de carbón a cualquier nivel hasta al menos el nivel que tendría si estuviera libre de humedad (el contenido de ceniza y el contenido total de azufre también se reduce,

140 39

estas reducciones contribuyen a incrementar adicionalmente las kcal/kg (BTU/lb));

5 • contenido de cenizas reducido en cualquier grado de carbón, las reducciones varían de aproximadamente 10% a más del 65% (véase, el ejemplo mostrado en las Tablas 1 y 2, a continuación); y

 • todas y cada una de las formas de azufre reducidas, con un azufre total reducido en 50% a 75% y, para algunos carbones, incluso más.

10 Un "nuevo combustible", incluye cualquiera de estos carbones procesados que tienen una propiedad o propiedades contenidas en cualquiera de los siete intervalos de propiedades para cada tipo de carbón dado a continuación.

15 Carbones Bituminosos:
 Carbón de los Estados Unidos:

	<u>materia prima típica a lo mejor</u>
Kcal/kg (BTU/lb)	6958.03 a 7937.05 (12537 a 14301)
% de Humedad	3.39 hasta 0.44
% de Cenizas	10.94 hasta 2.65
% de S Total	3.73 hasta 1.21
% de Pirita	1.88 hasta 0.32
% de Sulfato	0.14 hasta 0.01
% de S Orgánico	1.73 hasta 0.62

141

Carbón Internacional (referencia Tablas 1 y 2, siguientes):

	<u>materia prima típica a lo mejor</u>
Kcal/kg (BTU/lb)	7069.03 a 8068.03 (12737 a 14537)
% de Humedad	2.00 hasta 0.83
% de Cenizas	10.29 hasta 2.24
% de S Total	3.94 hasta 1.84
% de Pirita	0.88 hasta 0.11
% de Sulfato	0.13 hasta 0.01
% de S Orgánico	2.94 hasta 1.65

5

Lignitas:

Lignita de los Estados Unidos:

	<u>materia prima típica a lo mejor</u>
Kcal/kg (BTU/lb)	4032.63 a 6410.25 (7266 a 11550)
% de Humedad	38.27 hasta 3.73
% de Cenizas	7.29 hasta 5.22
% de S Total	2.18 hasta 1.13
% de Pirita	0.68 hasta 0.01
% de Sulfato	0.02 hasta 0.01
% de S Orgánico	1.48 hasta 1.12

Lignita Internacional:

10

	<u>materia prima típica a lo mejor</u>
Kcal/kg (BTU/lb)	4548.22 a 6509.59 (8195 a 11729)
% de Humedad	25.58 hasta 5.67
% de Cenizas	10.68 hasta 6.76
% de S Total	5.86 hasta 1.78
% de Pirita	2.60 hasta 0.23
% de Sulfato	0.45 hasta 0.07
% de S Orgánico	2.81 hasta 1.31

Pueden hacerse reclamos similares para otros carbones y clases de carbón procesados por métodos y aparatos de esta descripción, y los resultados de las pruebas del proceso adicionales, harán posible identificar y crear tales nuevos combustibles para cualquier grado o clase de carbón. El resultado final será una matriz de todos los grados y clases de carbón y todos los "nuevos combustibles" capaces de obtenerse del procesamiento por la invención.

VI. Resultados Experimentales

Los carbones con las propiedades expuestas anteriormente se han producido vía los experimentos descritos a continuación. Comparando las propiedades de los carbones de materias primas y procesados del mismo grado y clase y de la misma muestra de lote, somos capaces

de determinar la cantidad de mejora en cada una de las siete propiedades del combustible debida al procesamiento mediante estos métodos y aparatos. Más específicamente, y a manera de ejemplo, se presentan a continuación los resultados de prueba de una tercera parte (es decir, *Standard Laboratories*) en cada uno de varios grupos de muestra de carbón de materia prima y procesado de carbones bituminosos y lignitas. Para los carbones de materia prima, se hace uso de las propiedades promedio o "típicas".

Puesto que los resultados del carbón procesado proporcionados en la presente, se obtuvieron como parte de nuestro programa para probar los efectos de variar los parámetros del proceso, no demuestran el alcance total de la invención. Dicho de manera diferente, uno puede esperar que el procesamiento controlado para obtener las propiedades seleccionadas u óptimas resultarán en propiedades que son mejores que aquéllas obtenidas durante el procesamiento de evaluación. Por esta razón, se hace uso de los "mejores" valores procesados mostrados en la presente, para cada propiedad del combustible procesado, y para propósitos de demostración, esos valores se comparan con los valores "típicos" para el carbón de la materia prima, no procesado.

Tres diferentes conjuntos de carbones, de materia prima y procesados, se han procesado para ilustrar como la

metodología del proceso puede reducir la humedad, puede incrementar las kcal/kg (BTU/lb), y puede disminuir la ceniza y todas las formas de azufre. Todas estas muestras se eligieron de manera aleatoria de lotes grandes de muestra, y todos estos resultados son de pruebas realizadas en *Standard Laboratories* de Charleston del Sur, Virginia Occidental.

En las Tablas 1 y 2 siguientes, respectivamente, las propiedades del carbón internacional de materia prima se yuxtaponen con aquéllas del carbón de la misma ubicación, procesados vía métodos de radiación electromagnética, descritos anteriormente.

Las propiedades en este lote de carbón internacional de muestra de materias primas fueron consistentes en cada categoría, excepto para la muestra # 20731110. La reducción mayor en la ceniza para los carbones internacionales procesados resulta en kcal/kg (BTU/lb) más altas que para los carbones procesados de los Estados Unidos. Como en las materias primas, una muestra (es decir, la muestra # 20925107), tuvo propiedades significativamente diferentes y en este caso, el azufre más alto para cada forma de azufre. Nótese, sin embargo, que los contenidos de azufre mayores no tuvieron ningún efecto en las kcal/kg (BTU/lb), que se determinan principalmente por el contenido de humedad y el contenido de cenizas. Las

145

muestras tuvieron generalmente una pequeña variación en las propiedades. Estos carbones también se procesaron mediante medios similares pero no idénticos (parámetros y tiempos).

5 Tabla 1:
Carbón Internacional, Materia Prima:

M. #	Calor en carbón kcal/kg (Btu/lb)	Base seca kcal/kg (Btu/lb)	Libras de M-A kcal/kg (Btu/lb)	Humedad (%)	Carbón (%)	Contenido de azufre, base seca (%)			
						Total	Pirita	Sulfato	Orgánico
20221113	6973.57 (12565)	7129.53 (12846)	8037.51 (14482)	2.19	11.30	4.23	0.85	0.15	3.23
20221114	6968.58 (12556)	7109.55 (12810)	8002.43 (14417)	1.99	11.15	4.16	0.78	0.14	3.24
20221115	7113.99 (12818)	7259.4 (13080)	8076.91 (14553)	2.03	10.12	4.22	0.95	0.12	3.15
20221116	6761.01 (12182)	6897.54 (12428)	8000.32 (14415)	1.98	13.78	4.31	1.02	0.14	3.15
20221117	7054.60 (12711)	7198.35 (12970)	8033.62 (14475)	2.00	10.40	4.12	0.81	0.12	3.19
20221118	7037.98 (12627)	7151.73 (12886)	8081.91 (14562)	2.01	11.51	4.32	0.92	0.13	3.27
20731110	7811.07 (14074)	7955.37 (14334)	8266.72 (14895)	1.82	3.77	2.19	0.41	0.08	1.70
20731111	6860.35 (12361)	7281.6 (13120)	8116.32 (14624)	1.97	10.29	3.97	1.29	0.13	2.55
Promedio	7068.89 (12736.75)	7247.74 (13059)	8076.91 (14553)	2.00	10.29	3.94	0.88	0.13	2.94

Carbón Internacional, Procesado:

SL. #	Como se recibió local/kg (STU/lb)	Baza Seaca local/kg (STU/lb)	Libras de M-A local/kg (STU/lb)	Humedad (%)	Coniza s (%)	Contenido de Azufre, Base Seaca (%)			
						Total	Librita	Sulfato	Orgánico
20731112	8068.03 (14537)	8135.74 (14659)	8322.22 (14995)	0.63	2.24	1.86	0.21	<0.01	1.65
20731113	7827.72 (14104)	7938.16 (14303)	8143.51 (14673)	1.40	2.52	1.84	0.11	0.01	1.72
20731114	7759.45 (13981)	7918.18 (14267)	8284.48 (14927)	2.01	4.42	2.20	0.39	0.07	1.74
20731115	7805.52 (14054)	7872.67 (14185)	8208.45 (14790)	0.85	4.09	2.11	0.33	0.05	1.73
20925107	7707.84 (13888)	7819.95 (14090)	8179.59 (14738)	1.44	4.39	3.10	0.84	0.27	1.99
20925108	7661.77 (13805)	7843.26 (14132)	8195.13 (14766)	2.31	4.29	1.93	0.21	0.02	1.70
20925109	7941.49 (14309)	8035.84 (14479)	8283.93 (14926)	1.17	3.00	1.93	0.25	0.03	1.65
Promedio	7824.39 (14098)	7937.61 (14302)	8231.20 (14831)	1.43	3.56	2.14	0.33	0.08	1.74
Diferencia	755.91 (1362)	689.86 (1243)	154.29 (278)	(0.57)	(6.73)	(1.80)	(0.54)	(0.05)	(1.20)

5 Detalles del Procesamiento del Carbón Internacional

La Tabla 2 lista los resultados de la prueba de Standard Laboratories (SL) para los carbones procesados. Estas pruebas del proceso inicial se utilizaron para determinar las respuestas características de estos carbones a los parámetros del proceso. Se utilizó una cámara de radiación electromagnética del tamaño para cocina, pequeña, con baja potencia electromagnética (1000 watts y menor), y muestras relativamente pequeñas (0.907 a 2.267 kilogramos (dos a cinco libras)). Cada una de nuestras pruebas del proceso del primer laboratorio en un carbón "nuevo", se realizó de esta manera.

En el procesamiento inicial, generalmente, los carbones de diferentes tamaños, coloración, etc., se seleccionaron para examinar sus respuestas y efectos separados, si los hay, en sus propiedades postprocesamiento. En las pruebas delineadas en la presente, cada lote de muestra también se dividió en secciones, algunas en una pila alta, y algunas en una capa plana, y las secciones se colocaron sobre o en diferentes recipientes de contención, hechos, por ejemplo, de Pyrex™, de manera alterna, los recipientes pueden ser placas de cerámica de alta temperatura, artesas aluminizadas, o formarse de otros materiales de alta temperatura. La ubicación de los recipientes se varió en la cámara; también se varió la potencia electromagnética aplicada y los ciclos de trabajo (tiempos de potencia encendida y apagada). Las pruebas separadas se realizaron en los finos, los trozos de medianos a grandes, y algunas muestras bien mezcladas, etc., para examinar cada uno de sus efectos separados y combinados. En lo siguiente, todos y cada uno de los pasos en la secuencia del proceso para las primeras cuatro muestras de la Tabla 2, se listan junto con los comentarios y observaciones.

148

Muestras 20731112 y 20731113 (Tabla 2 de referencia)

Estas muestras consisten totalmente de trozos pequeños a medianos antes del procesamiento. La tubería transparente se conectó a una abertura de salida de la cámara para transportar los líquidos y gases, pero no se utilizó flujo de aire forzado en el procesamiento de estas muestras, únicamente la acumulación de temperatura/presión de la atmósfera de la cámara, lo cual impulsó los subproductos fuera de la cámara.

La secuencia del proceso para la muestra original se expone como sigue:

Tabla 3:

Nivel de Potencia	Tiempo (minutos)	Notas
5	1	A menos que se indique de otra manera, la potencia se apaga durante 10 segundos después de cada tiempo listado, excepto para los periodos en que se abre la cámara.
8	2	Se observa vapor amarillo en la cámara a 1 minuto, pero sin humedad en la cámara o en la tubería. Una nube de vapor denso observada a 1 minuto 40 segundos. Demasiado calor, paro para reajustar la potencia a un nivel menor.
5	1	Vapor con un tinte amarillo observado a los 30 segundos, sin humedad evidente.
5	2	La tubería está llena con humos con tinte amarillo
5	2	Flujo pesado de humo.
6	1	
6	1	
6	2	Se forma algo de condensación en la tubería.
6	2	Humos muy pesados, con un fuerte color amarillo y olor a azufre.

149

Nivel de Potencia	Tiempo (minutos)	Notas
6	2	Tinte marrón en el residuo que se recolecta en el lado inferior de la tubería de salida.
6	2	
6	2	Se escucha sonido de chasquido en la cámara y se observan humos amarillos más oscuros que fluyen en la tubería.
6	2	Se abre la cámara para observar. Los carbones están calientes y la cámara está llena de humo.
6	2	El humo se vierte fuera de la cámara. Detener al minuto 20 segundos. Sin humedad en la cámara pero un residuo de color marrón oscuro a través de la cámara, probablemente el inicio de la liberación del hidrocarburo. Terminan las pruebas de procesamiento.

(1) El nivel de potencia (1) en el sistema de la cámara del proceso varía de 1 a 10, 10 corresponde al nivel de potencia más alto disponible (aproximadamente 1000 watts), pero con niveles no precisamente lineales, especialmente a los niveles más altos.

La secuencia del proceso anterior se aplicó a una sola muestra, la cual se dividió en dos partes de igual tamaño ('1112 y '1113), antes de enviarse a *Standard Laboratories* para las pruebas. Los datos de la prueba de SL se proporcionan en la Tabla 2, que documenta el hecho de que los porcentajes de ceniza y de azufre se redujeron ambos por más del 50% en este conjunto de pruebas. Las diferencias en las propiedades de las dos porciones de la muestra procesada, están entro de los límites aceptables, especialmente puesto que la colocación y otras condiciones

150

de la muestra se variaron, como se indicó anteriormente, y ésta fue una primera prueba y que define este lote de carbón. El tiempo de exposición total de 24 minutos se relaciona con el tamaño de la muestra, los niveles de potencia aplicados, y las cantidades observadas y la coloración de los humos durante y después del procesamiento.

Las muestras 20731114 y 20731115, consistieron totalmente de piezas pequeñas de gránulos finos, que se colocaron en dos placas de cerámica de 1.27 a 1.905 centímetros (1/2 a 3/4 de pulgadas) de alto, una placa plana cerca de la pared más cercana al magnetrón y una placa redonda cerca de la pared opuesta.

Tabla 4:

Nivel de Potencia	Tiempo (minutos)	Notas
2	1	Los niveles de potencia se ajustan intencionalmente menores que el conjunto de pruebas anterior.
2	1	
2	2	
2	2	
2	2	
3	1	
3	2	Se observa una turbidez ligera en la tubería.
3	2	
4	2	
4	2	
4	2	Algo de condensación visible ahora en la tubería. Parar para abrir la cámara a los 24 minutos de exposición acumulada (para comparar con las pruebas anteriores utilizando los niveles de potencia más altos). No están presentes humedad ni

Nivel de Potencia	Tiempo (minutos)	Notas
		humos, la temperatura del aire de la cámara y las superficies del carbón están tibias, pero no calientes. La apariencia observada y la cantidad de humo dependen definitivamente de los tamaños de los trozos de carbón, la colocación y la distribución, el ciclo de trabajo y el tiempo. El humo empieza a salir de la tubería.
5	1	
5	1	Se observa más humo.
5	1	La cubierta superior de la cámara está caliente al tacto, reajustar a una potencia menor.
4	1	
4	2	
4	2	Detener el procesamiento para observar. El interior de la cámara está lleno con humo, pero sin humedad en las paredes de la cámara y sin coloración del hidrocarburo y los carbones están únicamente tibios y no calientes.
4	2	Se observa humo después de 1 minuto 40 segundos.
4	2	Humo a través de la cámara y la tubería.
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Todavía sin coloración marrón en la tubería.
4	2	Detener para abrir la cámara. Algo de humo pero sin coloración marrón.
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	
4	2	Detener para abrir la cámara. Retirar una pieza pequeña que parece haberse sobrecalentado.
4	2	
5	1	El humo se reanuda rápidamente.
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	
5	1	Detener para abrir la cámara. Llena de humo amarillo.
5	1	Sin humo.
5	1	Se reanuda el humo.

152 \$

Nivel de Potencia	Tiempo (minutos)	Notas
5	9	Segmentos consecutivos de 1 minuto encendido, 10 segundos apagado, con la cámara abierta después del 9o segmento.
5	2	Humo pesado. Detener para retirar el contenido de la placa redonda después de 79 minutos de exposición acumulada (muestra 1114) y continuar con la placa plana (muestra 1115) sola.
4	2	Se reanuda el humo amarillo.
4	2	Detener para abrir la cámara. La pieza más pequeña más cercana al magnetron humea mucho.
4	2	Detener nuevamente y mover la placa hacia el centro de la cámara.
4	2	
4	2	Ruido de chasquido de la placa de cerámica, la cual se sobrecalentó y se agrietó.
5	1	
5	2	No se observa humo en o de la tubería.
7	1	
7	1	Humo de la tubería.
7	1	Humo continuo.
7	1	Humo pesado en la cámara y la tubería. Más ruidos de chasquidos. Detener para abrir la cámara. Múltiples grietas en la placa de cerámica. Detener la corrida de la prueba después de 96 minutos de exposición acumulada para la muestra 1115.

Más frecuentemente, ocurre primero la fractura en el procesamiento, seguido por la liberación de humedad, ceniza y azufre en ese orden. Para este carbón internacional, la liberación de azufre pareció preceder a la de humedad, pero el bajo porcentaje de humedad en este carbón podría haber enmascarado pequeñas cantidades de humedad que puedan haberse liberado primero.

10 Comparación de las propiedades:

Las muestras '1112 y '1113, evidencian

reducciones significativamente mayores en el por ciento de ceniza y el azufre total que aquéllas obtenidas para las muestras '1114 y '1115. La reducción mejorada en la ceniza y el azufre es atribuible directamente al uso de niveles de potencia más altos (5 a 6, produciendo aproximadamente 600 a 700 watts) y por lo tanto, tiempos de exposición más cortos para '1112 y '1113. La referencia a la potencia menor utilizada (principalmente 4 y 5) con '1114 y '1115, y los tiempos de exposición significativamente más largos que todavía no alcanzan las reducciones cercanas a aquéllas para las primeras dos muestras listadas. Todas de tales mediciones de prueba han mostrado que cada carbón es altamente sensible a la potencia aplicada; es decir, cada uno tiene un umbral de potencia en el cual se observan cambios significativos y algunas veces súbitos. Después de que estos umbrales se identifican para el carbón, pueden probarse entonces combinaciones de los parámetros de procesamiento para identificar las combinaciones de parámetros que lograrán esos umbrales. El proceso para ese carbón puede gobernarse entonces para seleccionar esos umbrales utilizando las combinaciones de parámetros identificadas.

Variación de los parámetros de potencia y tiempo:

Las pruebas expuestas a continuación se

154

realizaron en lignitas de Texas. La intención de estas pruebas fue mostrar que es posible afinar la cantidad de reducción de humedad y las kcal/kg (BTU/lb) resultantes, utilizando varias combinaciones de potencia
5 electromagnética aplicada y tiempo de residencia de procesamiento en la cámara.

El valor procesado buscado para las kcal/kg (BTU/lb) se inició intencionalmente por encima de las 3885 (7000), y se llevó justo debajo de 4440 kcal/kg (8000
10 BTU/lb) en los pasos controlados por pequeñas variaciones en la potencia y el tiempo, iniciando con 4651.45 kcal/kg (8381 BTU/lb) y 26.11% de humedad y terminando con 4398.93 kcal/kg (7926 BTU/lb) y 23.21% de humedad. Como se observa en la Tabla 5 siguiente, los parámetros de potencia/tiempo
15 de 5/70, ajustan la barra demasiado alta, con una disminución de kcal/kg (BTU/lb) capaz de obtenerse utilizando la misma potencia, pero procesando durante 50 segundos adicionales (recordar que cada línea de datos en la Tabla corresponde a una muestra diferente del mismo lote
20 (A) de lignita). Puesto que el tiempo es siempre la esencia del procesamiento, el siguiente ajuste incrementó la potencia y disminuyó el tiempo, con el resultado esperado de que se obtuvo una disminución adicional en las kcal/kg (BTU/lb). Las siguientes dos muestras se
25 procesaron con los mismos ajustes de potencia/tiempo,

ISS 7

mientras que se disminuye el tiempo aún más, y haciendo el incremento "equilibrado" apropiado en la potencia aplicada. Las diferencias en los resultados de estas dos muestras (30728125 y 30728126), están dentro de los intervalos aceptables cuando se procesan diferentes muestras y muestran además la consistencia interna de la metodología del proceso. Finalmente, el mismo nivel de potencia siguiente (véase a continuación), se utilizó en la última muestra, pero el procesamiento se extendió cinco segundos adicionales, por lo que se obtuvieron las kcal/kg (BTU/lb) objetivo.

Tabla 5 (lignita, E):

SL # E Representativa (Procesada)	Como se Recibió Kcal/kg (BTU/lb)	% de Cambio	Humedad	% de Cambio	Potenci a (KW)	Tiempo Procesado (segundos)
Materia Prima	4048.17		36.35			
Promedio	(7294)					
30728122.00	4651.45	14.9	26.11	(28.17)	5	70
	(8381)					
30728123.00	4594.29	13.49	22.42	(38.32)	5	120
	(8278)					
30728124.00	4523.80	11.75	22.86	(37.11)	10	45
	(8151)					
30728125.00	4481.07	10.69	24.27	(33.23)	20	10
	(8074)					
30728126.00	4448.88	9.9	25.9	(28.75)	20	10
	(8016)					
30728127.00	4398.93	8.66	23.21	(36.15)	20	15
	(7926)					

15

Los ejemplos de la Tabla 5 se dan para mostrar cómo dos de los principales parámetros del proceso solos pueden utilizarse para seleccionar propiedades específicas

156

para las kcal/kg (BTU/lb) y el por ciento de humedad. Es importante notar que hemos medido y procesado estos mismos lotes de lignita en nuestros sistemas de laboratorio anteriormente, y por lo tanto, teníamos conocimiento previo de sus propiedades y sus respuestas al procesamiento con radiación electromagnética con múltiples parámetros. Con esta información, fuimos capaces de indicar aquellos cambios que podrían esperarse de los cambios debidos únicamente a la potencia y el tiempo. Puede utilizarse una metodología similar en un entorno de laboratorio o del campo para cada una de las propiedades designadas que se buscan antes de que cualquier carbón sea procesado a una escala comercial.

Un ejemplo en donde una metodología similar a aquella utilizada en las pruebas reportadas en la Tabla 5 se proporciona en la comparación de tiempo-potencia proporcionada en la Tabla 6, a continuación. Once muestras separadas del mismo lote de lignita, marcado "A", se procesaron con todos los parámetros del proceso mantenidos constantes, excepto por la potencia electromagnética aplicada y el tiempo procesado. La intención del usuario de esta lignita fue seleccionar una reducción en el por ciento de humedad de entre 8% y 12% y un incremento correspondiente en las kcal/kg (BTU/lb) a los 3885 (7000). Para dos de las 11 muestras procesadas, 30728111 y '119, el

valor de kcal/kg (BTU/lb) fue significativamente diferente (menor) que las otras muestras, con la primera muestra que tiene también el por ciento de humedad más alto. La primera combinación del conjunto de prueba de 5 kW y 30 segundos fue claramente demasiado pequeña para alcanzar la reducción deseada de humedad para esa muestra, lo cual también fue evidente en la cantidad relativamente pequeña de vapor de agua que se observa que sale de la cámara del proceso durante su procesamiento. La tabla representa los resultados de utilizar varias combinaciones de potencia y tiempo con todas las otras combinaciones, excepto una de 20/15, que proporciona los niveles buscados. Tres conjuntos de muestras, '113/'114 y '115/'116 y '119/'120/'121, hacen uso de exactamente los mismos parámetros del proceso, incluyendo la potencia y el tiempo. Las diferencias en las propiedades entre las muestras en cada uno de estos conjuntos, puede atribuirse a las diferencias en las propiedades inherentes de las muestras mismas, y no a las diferencias debido al procesamiento.

158

Tabla 6 (lignita, A):

SL # Representativa	Como se Recibió Kcal/kg (BTU/lb)	% de Cambio BTU/lb	% de Humedad	% de Cambio de Humedad	Potencia (kW)	Tiempo Procesado (segundos)
Materia Prima	3527.58		36.05			
Promedio	(6356)					
Procesada:						
30728111.00	3836.71 (6913)	8.76	32.90	(8.74)	5	30
30728112.00	4252.41 (7662)	20.55	22.47	(27.76)	5	120
30728113.00	4610.38 (8307)	30.70	23.16	(35.76)	5	90
30728114.00	4427.23 (7977)	25.50	27.13	(24.74)	5	90
30728115.00	4538.23 (8177)	28.65	24.51	(32.01)	10	45
30728116.00	4458.87 (8034)	26.40	24.42	(32.26)	10	45
30728117.00	4544.89 (8189)	28.84	25.08	(30.43)	20	17
30728118.00	4411.14 (7948)	25.05	25.26	(29.93)	20	9
30728119.00	4019.86 (7243)	13.96	21.41	(40.61)	20	15
30728120.00	4387.27 (7905)	24.37	23.90	(33.70)	20	15
30728121.00	4507.15 (8121)	27.77	23.54	(34.70)	20	15
Promedios	4362.85	24.89				
(todo)	(7861)					
Promedios	4415.58	24.09				
(menos de 111)	(7956)					

159

Tabla 7 (lignita, F):

SL # Representativa	Como se Recibió Kcal/kg (BTU/lb)	% de Cambio BTU/lb	% de Humedad	% de Cambio de Humedad	Potenci a (kW)	Tiempo Procesado (segundos)
Materia Prima	3801.19		32.97			
Promedio	(6849)					
Procesada:						
30728128	4726.93 (8517)	24.35	19.88	(39.70)	10	45
30728129	4742.47 (8545)	24.76	20.76	(37.03)	20	15
30728130	4595.4 (8280)	20.89	18.43	(44.10)	20	15
30728131	4905.09 (8838)	29.04	12.97	(60.66)	20	30
30728132	5468.97 (9854)	43.88	4.74	(85.62)	5	300
30728133	5726.49 (10318)	50.65	6.28	(80.95)	5	300
30728134	5666.55 (10210)	49.07	7.81	(76.31)	30	15

Estos resultados indican claramente todavía de
5 otra manera, que la capacidad en la metodología del proceso
para variar los parámetros del proceso puede utilizarse de
manera efectiva para seleccionar una reducción específica
en la humedad y un intervalo relativamente estrecho
resultante de kcal/kg (BTU/lb), incluso para un lote de
10 carbón (cada lote de carbón) con muestras que tienen una
distribución de tamaños y propiedades. Además, los
resultados muestran que un conjunto de prueba relativamente
pequeño puede identificar la variedad de combinaciones de
potencia/tiempo que pueden utilizarse para obtener las
15 propiedades deseadas. Finalmente, con pruebas de
preprocesamiento directas, uno también puede valorar la
cantidad de ceniza y azufre en los carbones de materia

15
160

prima y como reaccionará un carbón particular al proceso, el resultado es que el sistema puede, si es que se desea, mejorar las propiedades de combustión totales del carbón por más que simplemente reduciendo la humedad.

5 Cualquier intento para realizar pruebas de laboratorio significativas requiere la consideración del tamaño de la muestra, el tamaño y configuración de la cámara, la potencia electromagnética disponible y su frecuencia o frecuencias, la capacidad para variar la potencia y el ciclo de trabajo, la estabilidad y reproducibilidad del sistema de laboratorio, y al menos un estimado de la potencia electromagnética real incidente en la superficie del carbón. Las pruebas de laboratorio, tales como aquellas mostradas aquí, pueden proporcionar los datos de entrada de la respuesta del carbón al preprocesamiento básico requeridos para el diseño a la medida de un sistema de proceso total, capaz de seleccionar y obtener propiedades específicas del carbón.

10

15

La Tabla 8 siguiente, proporciona una lista de las reducciones en la humedad, azufre, cenizas e índice de Emisiones, así como incrementos en las kcal/kg (BTU/lb) para una amplia variedad de carbonos procesados mediante los métodos de esta descripción.

20

09/16/

Tabla 8:

Muestra	Moléculas Primas, % de M	Proc., % de M	% de M Redn.	% de S Redn.	% de Oxígeno Redn.	Moléculas Primas, kcal/kg (BTU/lb)	Proc. kcal/kg (BTU/lb)	% Inc. kcal/kg (BTU/lb)	% de Redn. - KI
IL1	47.87	44.32	07	ND	ND	3247.30 (5851)	3479.29 (6269)	07	ND
IL2	52.92	46.94	11	ND	ND	2976.46 (5363)	3301.69 (5949)	11	ND
PRB1	26.10	22.46	14	NA	14	4972.8 (8960)	5332.44 (9608)	07	05
TL1	36.05	39.22	19	ND	ND	3527.58 (6356)	4322.34 (7788)	22	ND
WY1	21.65	17.05	21	05	06	5689.30 (10251)	6296.47 (11345)	11	10
WY2	20.16	15.66	23	10	18	5678.76 (10232)	6344.20 (11431)	12	16
IB1	2.00	1.43	29	46	67	7069.03 (12737)	7823.28 (14096)	11	51
TL2	36.05	24.89	31	ND	ND	3527.58 (6356)	4362.85 (7861)	24	ND
WY3	20.16	11.45	33	10	13	5678.76 (10232)	6403.03 (11537)	13	24
IB2	2.15	1.10	48	37	61	7197.79 (12969)	7950.93 (14326)	09	05
TL3	36.35	17.44	52	NC	NA	4048.17 (7294)	4285.71 (7722)	06	05
PA	3.36	1.35	60	21	08	7654.56 (13792)	7765.00 (13991)	01	21
PRB2	26.10	8.69	67	12	NA	4972.8 (8960)	6176.59 (11129)	24	28
IL3	25.58	8.16	68	68	25	4548.22 (8195)	6261.51 (11282)	38	76
WY4	20.16	5.81	71	07	13	5678.76 (10232)	6800.97 (12254)	20	22
OB	3.40	0.89	74	47	26	6958.03 (12537)	7460.31 (13442)	07	51
TL4	32.97	6.28	81	12	NA	3801.19 (6849)	5620.48 (10127)	48	42
TL5	38.30	4.99	87	34	09	4032.63 (7266)	6127.2 (11040)	52	57
PRB3	26.10	2.86	89	12	10	4972.80 (8960)	6613.38 (11916)	33	28
ILPC	6.49	0.69	89	02	NC	7972.57 (14365)	8433.78 (15196)	06	07
OK	3.96	0.42	89	04	04	7698.40 (13871)	7979.23 (14377)	14	07
AL	14.89	1.34	91	NC	20	6797.08 (12247)	7832.16 (14112)	15	14

Identificación de las abreviaturas en la Tabla 8:

- 5
- M, S Humedad, Azufre
- Proc Procesado
- Redn Reducción

162

	Inc	Incrementado
	EI	Índice de Emisión, kg (lb) de SO ₂ /Mkcal (MMBTU)
	ND	Sin Datos o Datos Insuficientes
5	NA	No se Aplica
	NC	Sin Cambio Apreciable
	IL1	Lignita India Neyveli (SW)
	IL2	Lignita India Neyveli (SW)
	IL3	Lignita India Gujarat (NW)
10	IB	India Assam (NE) Bituminoso
	WY	Wyoming Subbituminoso
	PA	Pennsylvania (NW) Bituminoso
	PRB	Wyoming Polvo Subbituminoso de la Cuenca del Río
15	OB	Ohio (SE) Bituminoso
	TL	Lignita del Este de Texas
	ILPC	Coque de Illinois Green Pet
	OK	Oklahoma Bituminoso
	AL	Alabama Bituminoso Suave

20

Al describir las modalidades de la invención, se utiliza terminología específica por claridad. Para propósitos de la descripción, cada término específico pretende incluir al menos todos los equivalentes técnicos y

25 funcionales que operen de una manera similar para alcanzar

un propósito similar. Por ejemplo, las referencias en la presente a microondas, debe interpretarse también como que incluyen frecuencias algo menores que pueden técnicamente, caracterizarse como radioondas, con la condición de que esas frecuencias afecten de manera similar las muestras de combustible sólido. De igual manera, se hacen referencias generalmente a carbón, aunque estos métodos también se aplican a otros combustibles orgánicos sólidos. Además, en algunos casos en donde una modalidad particular de la invención incluye una pluralidad de elementos del sistema o pasos del método, esos elementos o pasos pueden reemplazarse con un solo elemento o paso; de igual manera, un solo elemento o paso puede reemplazarse con una pluralidad de elementos o pasos que sirvan para el mismo propósito. Además, aunque esta invención se ha mostrado y descrito con referencias a las modalidades particulares de la misma, aquellos con experiencia en la técnica entenderán que varios otros cambios en la forma y detalles pueden hacerse a la misma sin apartarse del alcance de la invención.

164

REIVINDICACIONES:

1. Un método para el procesamiento de un lote de combustible sólido de materia prima, que comprende:

5 recibir un lote de combustible sólido de materia prima para el procesamiento;

medir uno a más de las propiedades seleccionadas de lo siguiente para el lote de combustible sólido de materia prima: por ciento de humedad, kcal/kg (BTU/lb), por ciento de ceniza, por ciento de azufre total, por ciento de cada una de varias formas de azufre, por ciento de material volátil, por ciento de carbono fijo, índice de molturabilidad de Hardgrove, cantidades en peso de minerales en trazas, y respuesta del combustible y sus constituyentes individuales a la radiación electromagnética;

10

15

determinar las propiedades deseadas del combustible del lote de combustible sólido después del procesamiento;

basándose en las propiedades del combustible sólido de materia prima, diseñar una configuración del sistema y seleccionar un perfil del nivel de potencia a una frecuencia seleccionada que resultará en el lote de combustible sólido procesado que tiene las propiedades deseadas del combustible; y

20

25 procesar el lote de combustible sólido

165

exponiéndolo a radiación electromagnética a la frecuencia seleccionada y el perfil del nivel de potencia.

2. El método según la reivindicación 1, que comprende además seleccionar una duración de la exposición a la radiación electromagnética que resultará en el lote de combustible sólido que tiene las propiedades deseadas del combustible y exponer el lote de combustible sólido a la radiación electromagnética por esa duración.

3. El método según la reivindicación 1, en donde una pluralidad de niveles de potencia se emplean en una secuencia predeterminada para obtener una liberación objetivo de diferentes componentes de la muestra de combustible sólido.

4. El método según la reivindicación 1, en donde una pluralidad de las propiedades expuestas del lote de combustible sólido de materia prima se mide y utiliza para seleccionar el perfil del nivel de potencia.

5. El método según la reivindicación 1, en donde la mayoría de las propiedades expuestas del lote de combustible sólido de materia prima se miden y utilizan para seleccionar el perfil del nivel de potencia.

6. El método según la reivindicación 1, en donde todas las propiedades expuestas del lote de combustible sólido de materia prima se miden y utilizan para seleccionar el perfil del nivel de potencia.

166

7. El método según la reivindicación 1, en donde el combustible sólido es carbón.

8. El método según la reivindicación 7, en donde el carbón no está en la forma de una pasta aguada.

5 9. El método según la reivindicación 7, en donde el combustible sólido se tritura o tamiza para limitar el lote a las partículas de combustible sólido que tienen un diámetro de aproximadamente 20.32 cm (8 pulgadas) o menos.

10 10. El método según la reivindicación 1, que comprende además precalentar el lote de combustible sólido de materia prima antes de exponerlo a la radiación electromagnética a la frecuencia seleccionada y al perfil del nivel de potencia, en donde el precalentamiento y la
15 energía electromagnética y la duración se aplican en secuencia para procesar el combustible sólido para fracturarlo y controlar la liberación de humedad seleccionada posterior.

20 11. El método según la reivindicación 10, en donde el precalentamiento es a una frecuencia diferente que la exposición posterior a la radiación electromagnética.

 12. El método según la reivindicación 11, en donde el precalentamiento se proporciona por una fuente térmica.

25 13. El método según la reivindicación 10, en

16x

donde el lote de combustible sólido se procesa en una cámara, el método comprende hacer fluir aire seco a través de la cámara durante el procesamiento.

5 14. El método según la reivindicación 13, en donde el aire seco se suministra a una velocidad de flujo suficiente para transportar el gas cargado con humedad y ayudar a evitar el chamuscado en la cámara.

10 15. El método según la reivindicación 14, en donde la velocidad de flujo de aire seco se determina por el tamaño y la configuración de la cámara y la cantidad de humedad a ser eliminada del combustible sólido.

15 16. El método según la reivindicación 1, en donde la energía electromagnética y la duración se aplican para procesar además el combustible sólido y controlar la liberación de ceniza objetivo.

 17. El método según la reivindicación 16, en donde el lote de combustible sólido se procesa en una cámara, el método comprende además hacer fluir aire seco a través de la cámara durante el procesamiento.

20 18. El método según la reivindicación 17, en donde el aire seco se suministra a una velocidad de flujo suficiente para transportar el gas cargado con ceniza y los finos particulados y ayudar a evitar el chamuscado en la cámara.

25 19. El método según la reivindicación 18, en

168

donde la velocidad de flujo del aire seco se determina por la cantidad de ceniza a ser eliminada del combustible sólido.

20. El método según la reivindicación 1, en
5 donde la energía electromagnética y la duración se aplican al combustible sólido para fracturarlo y liberar la humedad y para procesar además el carbón a una temperatura más alta durante un periodo de tiempo más largo, para obtener la liberación de azufre objetivo del combustible sólido.

10 21. El método según la reivindicación 20, en donde la temperatura más alta para la liberación de azufre objetivo está entre 130° y 240°C.

22. El método según la reivindicación 20, en donde el lote de combustible sólido se procesa en una
15 cámara, el método comprende además hacer fluir un gas inerte a través de la cámara durante el procesamiento.

23. El método según la reivindicación 22, en donde el gas inerte se suministra a una velocidad de flujo suficiente para evitar el chamuscado y la combustión en la
20 cámara.

24. El método según la reivindicación 23, en donde la velocidad de flujo es de al menos 0.424 m³/hora (15 pies cúbicos por hora) por metro cúbico de volumen de la cámara.

25 25. El método según la reivindicación 22, que

82
164

comprende además suministrar hidrógeno durante la fase de reducción del azufre del proceso.

26. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética puede
5 incrementar las kcal/kg (BTU/libra) del combustible sólido por al menos 555 kcal/kg (1,000 BTU/libra).

27. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética puede reducir selectivamente el, por ciento de humedad en el
10 combustible sólido de al menos aproximadamente uno por ciento a noventa y ocho por ciento.

28. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética alcanza una reducción de la ceniza en el combustible sólido
15 de al menos aproximadamente dos por ciento a sesenta por ciento.

29. El método según la reivindicación 1, caracterizado además porque el procesamiento con radiación electromagnética alcanza una reducción del por ciento total
20 de azufre en el combustible sólido de al menos aproximadamente dos por ciento a setenta por ciento.

30. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética reduce el por ciento de pirita en los combustibles sólidos
25 por al menos aproximadamente tres por ciento hasta noventa

53
170

y cinco por ciento.

31. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética reduce el por ciento de sulfato en el combustible sólido por al menos aproximadamente cinco por ciento a noventa y cinco por ciento.

32. El método según la reivindicación 1, en donde el procesamiento con radiación electromagnética reduce el por ciento de azufre orgánico en el combustible sólido por al menos aproximadamente uno por ciento a sesenta por ciento.

33. Un sistema de radiación electromagnética con múltiples elementos, para el procesamiento de carbón, que comprende:

un transportador de velocidad variable;

un sistema de precalentamiento, el transportador de velocidad variable pasa a través del sistema de precalentamiento;

un sistema que genera radiación electromagnética que incluye una fuente de energía electromagnética y una cámara de procesamiento en la cual se dirige la energía electromagnética, el transportador de velocidad variable pasa a través de la cámara de procesamiento;

un controlador que comprende un procesador de computadora acoplado con un código de programa de

171

almacenamiento de un medio legible en computadora, para generar órdenes para controlar la generación de energía electromagnética;

5 un sistema de medición y de retroalimentación, configurado para medir los cambios en las propiedades del combustible sólido durante el procesamiento por la energía electromagnética en el sistema que genera la radiación electromagnética y para comunicar las medidas al controlador; y

10 un flujo de aire y un sistema de manejo de los subproductos, configurado para hacer fluir un gas a través de la cámara de procesamiento y capturar y almacenar los subproductos liberados en la cámara de procesamiento como una consecuencia de la exposición a la radiación
15 electromagnética.

34. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema que genera la radiación electromagnética puede proporcionar 15 kW o más de energía electromagnética por fuente.

20 35. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema que genera la radiación electromagnética puede proporcionar energía electromagnética a una frecuencia de 902 MHz o mayor para cada fuente.

25 36. El sistema según la reivindicación 33, en donde la fuente de energía electromagnética está adecuada

172

para rendimientos de procesamiento comerciales y comprende múltiples magnetrones y generadores para los magnetrones.

37. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema de medición y de retroalimentación incluye
5 un detector de la temperatura para verificar las temperaturas superficiales de piezas de combustible sólido en el transportador.

38. El sistema según la reivindicación 37, en donde el sistema de medición y de retroalimentación y el controlador
10 están configurados para verificar las temperaturas superficiales de los combustibles sólidos en la cámara, para asegurar que sus temperaturas no alcanzan la temperatura de ignición del combustible sólido siendo procesado.

39. El sistema según la reivindicación 37, en donde el controlador está programado para ajustar uno o más
15 de los siguiente, basándose en las temperaturas superficiales medidas del combustible sólido:

la potencia de la radiación electromagnética;
la duración de la exposición a la radiación
20 electromagnética; y
el flujo de aire.

40. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema de medición y de retroalimentación incluye un analizador de la humedad, configurado para medir el por
25 ciento de humedad de los combustibles sólidos durante el

1x3

procesamiento.

41. El sistema según la reivindicación 40, en donde el controlador está programado para ajustar uno de lo siguiente basándose en el por ciento de humedad medido del combustible sólido:

la potencia de la radiación electromagnética;
la duración de la exposición a la radiación electromagnética; y
el flujo de aire.

42. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema de medición y de retroalimentación incluye un analizador de azufre configurado para medir el por ciento de azufre de los combustibles sólidos durante el procesamiento,

43. El sistema según la reivindicación 42, en donde el controlador está programado para ajustar uno o más de lo siguiente, basándose en el por ciento de azufre medido del combustible sólido:

la potencia de la radiación electromagnética;
la duración de la exposición a la radiación electromagnética; y
el flujo de aire.

44. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema de medición y de retroalimentación incluye un analizador de la ceniza configurado para medir el por

124

ciento de ceniza de los combustibles sólidos durante el procesamiento.

45. El sistema según la reivindicación 44, en donde el controlador está programado para ajustar uno o más de lo siguiente, basándose en el por ciento de ceniza medido del combustible sólido:

la potencia de la radiación electromagnética;
la duración de la exposición a la radiación electromagnética; y
el flujo de aire.

46. El sistema según la reivindicación 33, en donde el sistema de medición y de retroalimentación incluye un analizador de los minerales en trazas configurado para medir las cantidades de partes por millón (PPM) en los combustibles sólidos durante el procesamiento.

47. Un método para procesar carbón y otros combustibles sólidos que comprende generar energía electromagnética para precalentar y para procesar por radio frecuencia o microondas en una frecuencia de 928 MHz o menor y exponer combustibles sólidos a la energía en aquellas frecuencias.

175

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

Se toman medidas de la humedad, kcal/lb (BTU/lb) (Unidades Térmicas Británicas por libra), ceniza, formas de azufre, material volátil, molturabilidad y propiedades de absorción de cualquiera de una amplia variedad de combustibles sólidos como salen de la mina. Utilizando esa información, se ha desarrollado una tecnología de proceso electromagnético en seco, que puede controlarse para alterar de manera selectiva y mejorar las propiedades del combustible para la aplicación en cuestión. Los cambios específicos incluyen alterar la estructura mecánica y la composición química de los combustibles sólidos tales como el carbón, coque de carbón o coque de petróleo, incrementar las kcal/kg (BTU/lb) a niveles óptimos, disminuir todas las formas de azufre, y disminuir la ceniza, mientras que se mantienen las kcal/kg (BTU/lb) de los combustibles. Una nueva familia de carbones de diseñador de combustible sólido no encontrada en la naturaleza puede producirse vía estos métodos y aparatos.

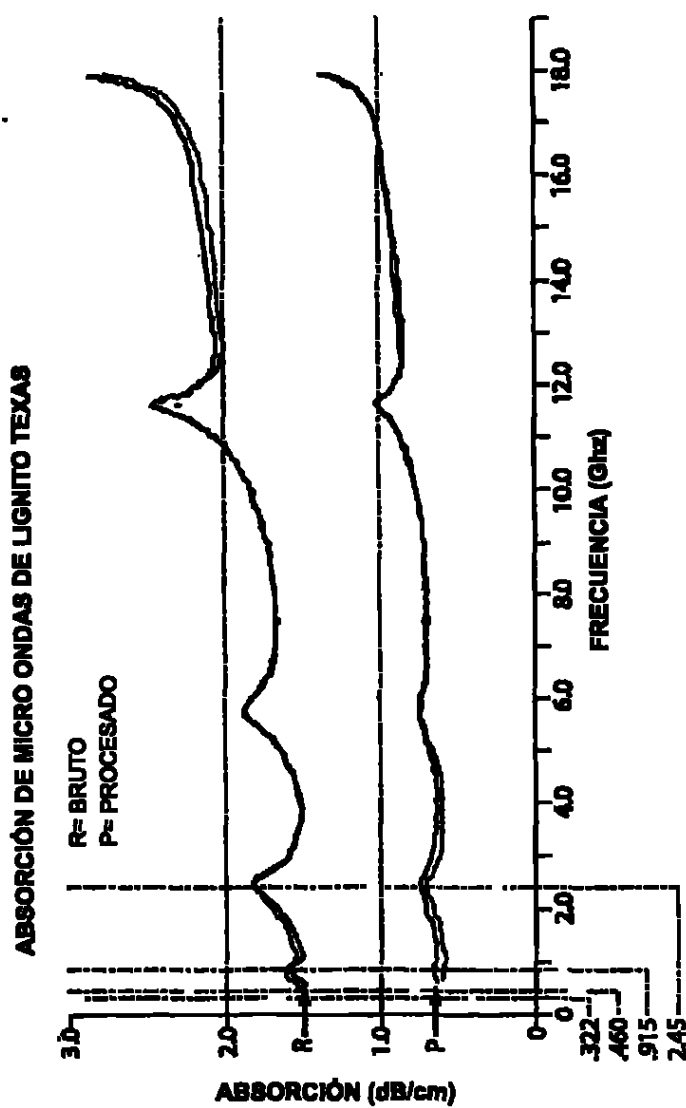


Fig. 1

177

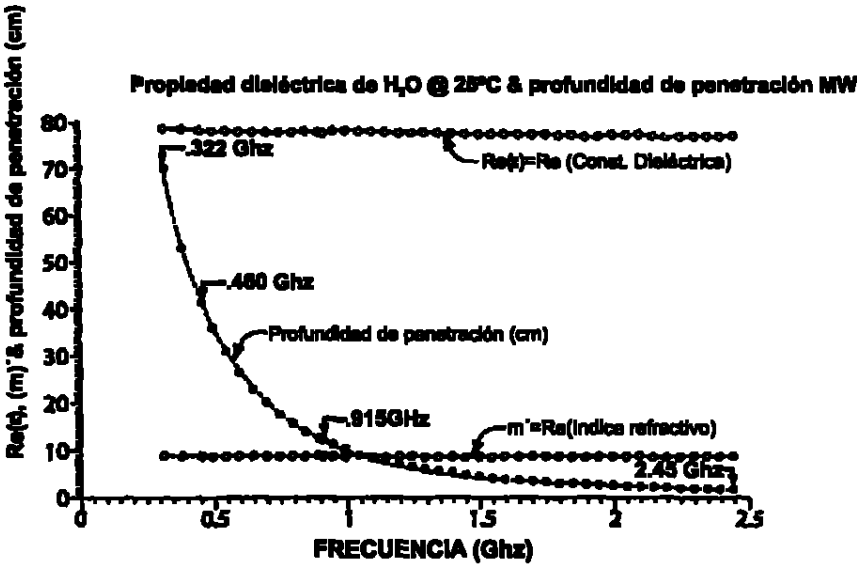


Fig. 2

178

3/11

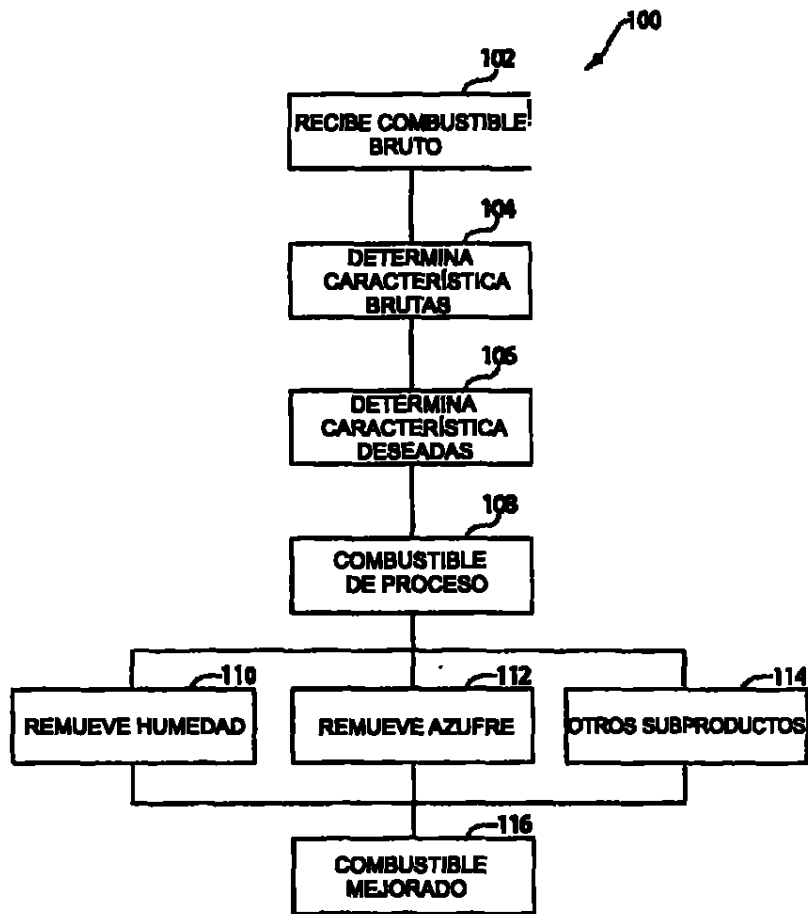


Fig. 3

17a

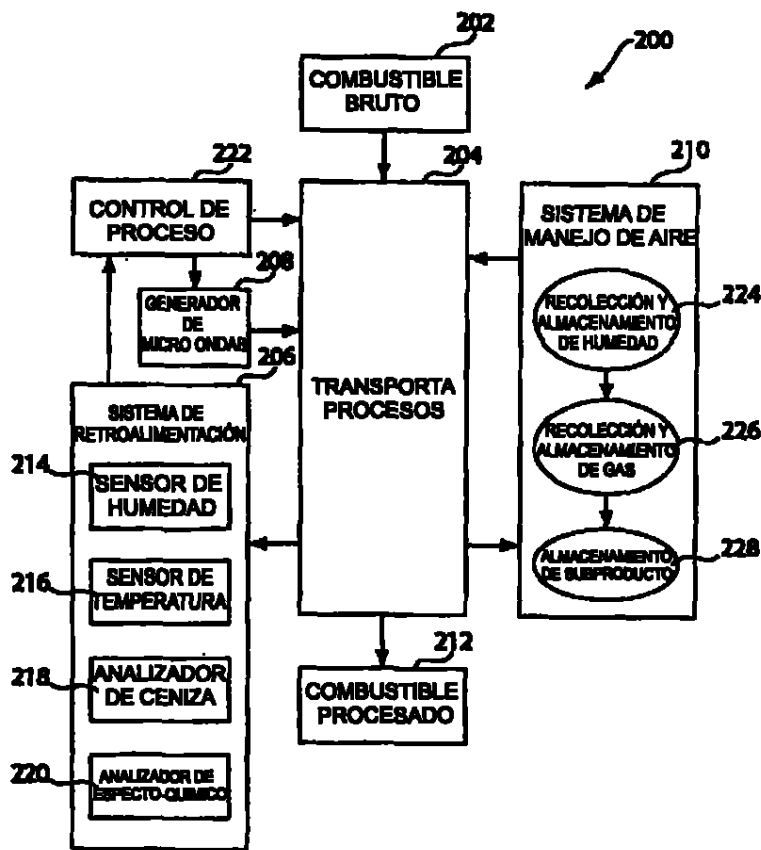
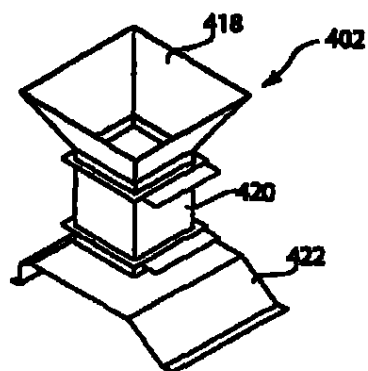
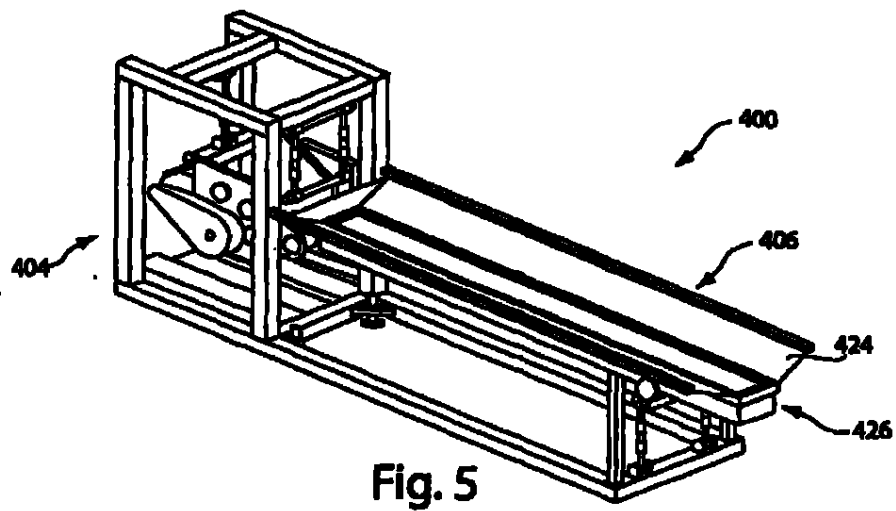


Fig. 4

180

5/11



HOJA SUSTITUTA (REGLA 26)

181 8

6/11

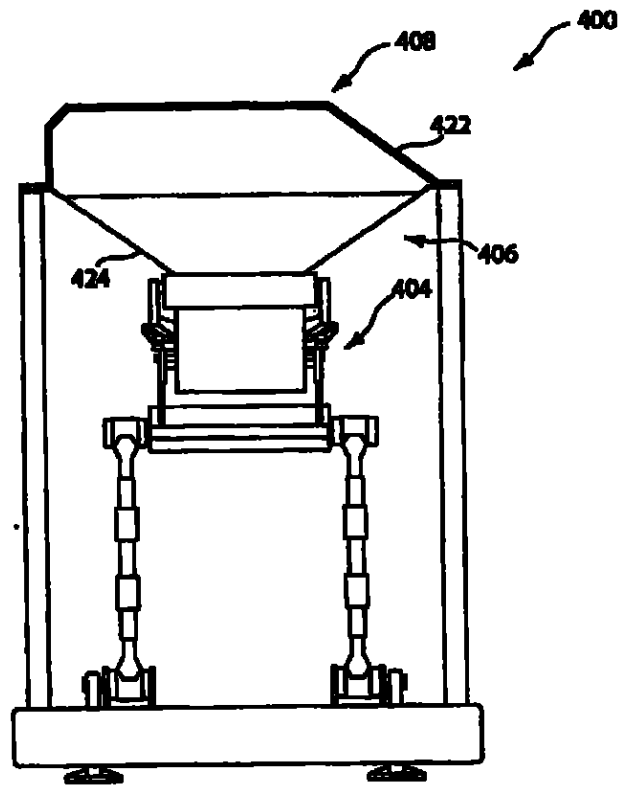


Fig. 7

HOJA SUSTITUTA (REGLA 20)

182

7/11

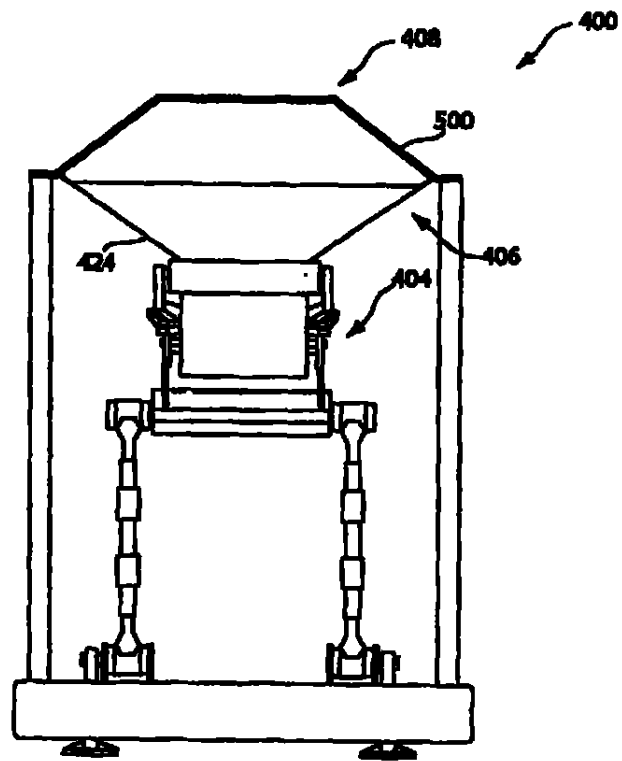


Fig. 8

HOJA SUSTITUTA (REGLA 28)

8/11

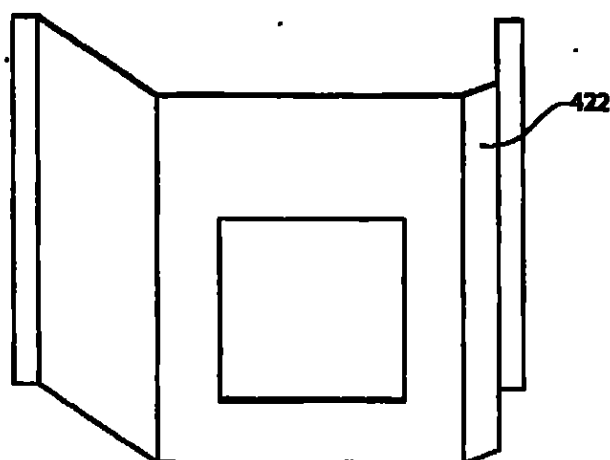


Fig. 9

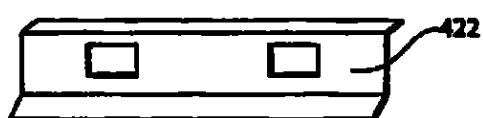


Fig. 10

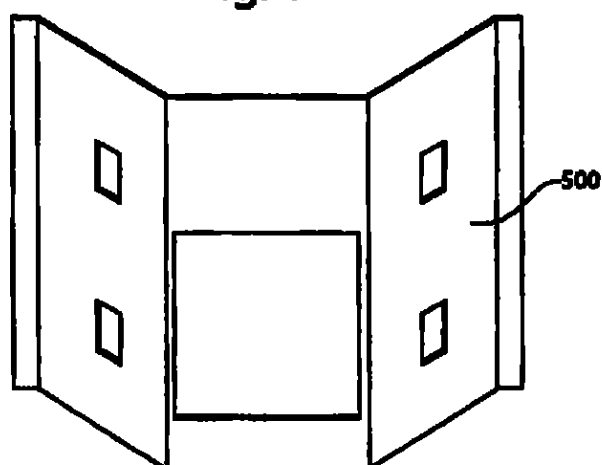


Fig. 11



Fig. 12

HOJA SUSTITUTA (REGLA 28)

183

184, 183

9/11

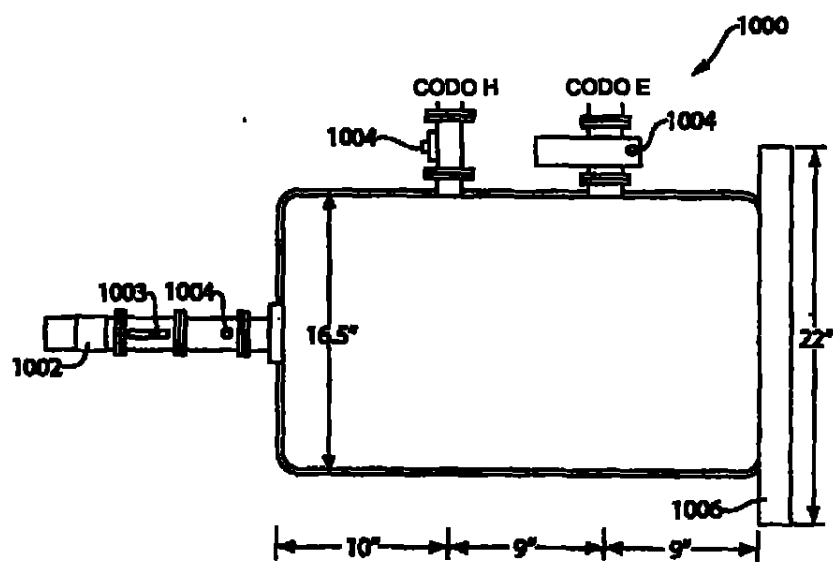


Fig. 13

185-16

10/11

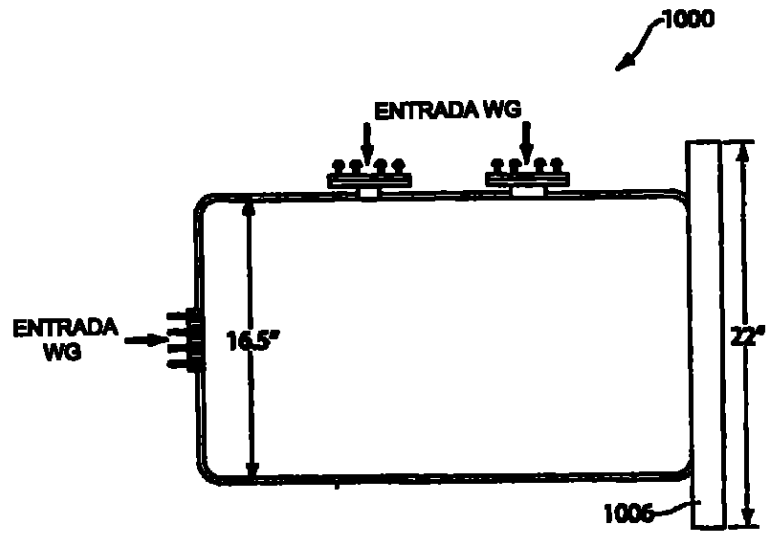


Fig. 14

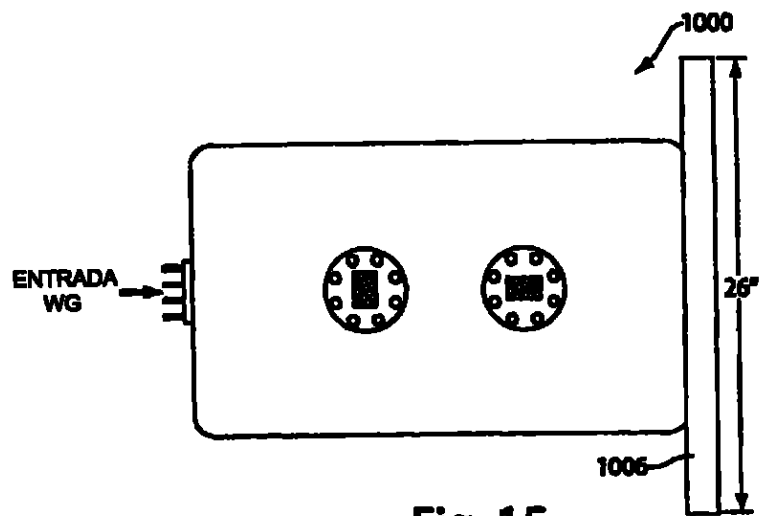


Fig. 15

HOJA SUSTITUTA (REGLA 26)

186

11/11

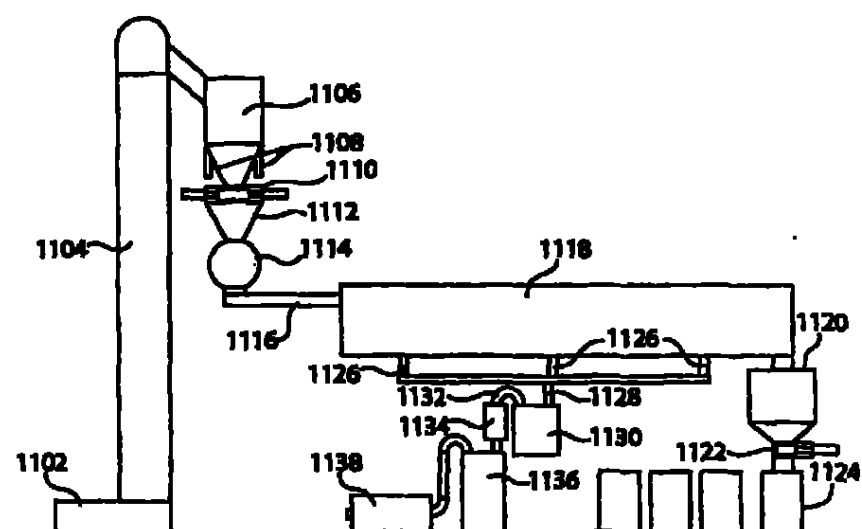


Fig. 16

PATENT COOPERATION TREATY

RECEIVED

DEC 09 2005

MINTZ LEVIN, BOSTO.
PATENT DOCKET DEP

From the
INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

To:

Mirabito, A. Jason
MINTZ, LEVIN, COHN, FERRIS
GLOVSKY and POPEO, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

☒ Data Entry	Date By
☒ Docket Entry	MIG
☒ Docket Cross Off	2/10/06
☐ Previously Entered	2/10/06
☐ No Docketing Req	2/10/06
☐ ELITE	2/10/06
☐ Annulment	2/10/06

NOTIFICATION OF TRANSMITTAL OF
THE INTERNATIONAL PRELIMINARY
REPORT ON PATENTABILITY
(PCT Rule 71.1)

Date of mailing
(day/month/year)

06.12.2005

Applicant's or agent's file reference
28377-011-061

IMPORTANT NOTIFICATION

International application No.
PCT/US2004/041786

International filing date (day/month/year)
10.12.2004

Priority date (day/month/year)
12.12.2003

Applicant
COALTEK CORPORATION

1. The applicant is hereby notified that this International Preliminary Examining Authority transmits herewith the international preliminary report on patentability and its annexes, if any, established on the international application.
2. A copy of the report and its annexes, if any, is being transmitted to the International Bureau for communication to all the elected Offices.
3. Where required by any of the elected Offices, the International Bureau will prepare an English translation of the report (but not of any annexes) and will transmit such translation to those Offices.

4. REMINDER

The applicant must enter the national phase before each elected Office by performing certain acts (filing translations and paying national fees) within 30 months from the priority date (or later in some Offices) (Article 39(1)) (see also the reminder sent by the International Bureau with Form PCT/IB/301).

Where a translation of the international application must be furnished to an elected Office, that translation must contain a translation of any annexes to the international preliminary report on patentability. It is the applicant's responsibility to prepare and furnish such translation directly to each elected Office concerned.

For further details on the applicable time limits and requirements of the elected Offices, see Volume II of the PCT Applicant's Guide.

The applicant's attention is drawn to Article 33(5), which provides that the criteria of novelty, inventive step and industrial applicability described in Article 33(2) to (4) merely serve the purposes of international preliminary examination and that "any Contracting State may apply additional or different criteria for the purposes of deciding whether, in that State, the claimed inventions is patentable or not" (see also Article 27(5)). Such additional criteria may relate, for example, to exemptions from patentability, requirements for enabling disclosure, clarity and support for the claims.

Name and mailing address of the international
preliminary examining authority:



European Patent Office - P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas
Tel. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 apo nl
Fax: +31 70 340 - 3016

Authorized Officer

Smits, A

Tel. +31 70 340-3596



PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

(Chapter II of the Patent Cooperation Treaty)

(PCT Article 36 and Rule 70)

Applicant's or agent's file reference 28377-011-061		FOR FURTHER ACTION		See Form PCT/PEA/416
International application No. PCT/US2004/041786		International filing date (day/month/year) 10.12.2004		Priority date (day/month/year) 12.12.2003
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC C10L9/00, C10L9/08, C10B57/10				
Applicant COALTEK CORPORATION				
1. This report is the international preliminary examination report, established by this International Preliminary Examining Authority under Article 35 and transmitted to the applicant according to Article 36. 2. This REPORT consists of a total of 10 sheets, including this cover sheet. 3. This report is also accompanied by ANNEXES, comprising: a. ☒ sent to the applicant and to the International Bureau a total of 3 sheets, as follows: ☒ sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis of this report and/or sheets containing rectifications authorized by this Authority (see Rule 70.16 and Section 807 of the Administrative Instructions). ☐ sheets which supersede earlier sheets, but which this Authority considers contain an amendment that goes beyond the disclosure in the international application as filed, as indicated in item 4 of Box No. I and the Supplemental Box. b. ☐ (sent to the International Bureau only) a total of (indicate type and number of electronic carrier(s)) , containing a sequence listing and/or tables related thereto, in computer readable form only, as indicated in the Supplemental Box Relating to Sequence Listing (see Section 802 of the Administrative Instructions).				
4. This report contains indications relating to the following items: ☒ Box No. I Basis of the opinion ☐ Box No. II Priority ☒ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability ☒ Box No. IV Lack of unity of invention ☒ Box No. V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement ☐ Box No. VI Certain documents cited ☐ Box No. VII Certain defects in the international application ☒ Box No. VIII Certain observations on the international application				
Date of submission of the demand 23.06.2005		Date of completion of this report 06.12.2005		
Name and mailing address of the international preliminary examining authority:  European Patent Office - P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas Tel. +31 70 340 - 2040 Tlx 31 651 epo nl Fax: +31 70 340 - 3016		Authorized Officer Bertin-van Bommel, S Telephone No. +31 70 340-4231 		

189 199

Box No. I Basis of the report

1. With regard to the language, this report is based on the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.
 - ☐ This report is based on translations from the original language into the following language, which is the language of a translation furnished for the purposes of:
 - ☐ international search (under Rules 12.3 and 23.1(b))
 - ☐ publication of the international application (under Rule 12.4)
 - ☐ international preliminary examination (under Rules 55.2 and/or 55.3)
2. With regard to the elements* of the international application, this report is based on *(replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report)*:

Description, Pages

1-51 as originally filed

Claims, Numbers

1-33, 36-40 as originally filed
41-47 received on 27.06.2005 with letter of 23.06.2005
34, 35, 48-52 received on 24.10.2005 with letter of 24.10.2005

Drawings, Sheets

1/12-12/12 as originally filed

- ☐ a sequence listing and/or any related table(s) - see Supplemental Box Relating to Sequence Listing
3. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:
 - ☐ the description, pages
 - ☐ the claims, Nos.
 - ☐ the drawings, sheets/figs
 - ☐ the sequence listing *(specify)*:
 - ☐ any table(s) related to sequence listing *(specify)*:
 4. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments annexed to this report and listed below had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).
 - ☐ the description, pages
 - ☐ the claims, Nos.
 - ☐ the drawings, sheets/figs
 - ☐ the sequence listing *(specify)*:
 - ☐ any table(s) related to sequence listing *(specify)*:

* If item 4 applies, some or all of these sheets may be marked "superseded."

**INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT
ON PATENTABILITY**

International application No. **PCT/US2004/041786**

190

Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, Inventive step and Industrial applicability

1. The questions whether the claimed invention appears to be novel, to involve an inventive step (to be non-obvious), or to be industrially applicable have not been examined in respect of:

☐ the entire international application,

☒ claims Nos. 50-52

because:

☐ the said international application, or the said claims Nos. relate to the following subject matter which does not require an international preliminary examination (specify):

☐ the description, claims or drawings (*indicate particular elements below*) or said claims Nos. are so unclear that no meaningful opinion could be formed (*specify*):

☒ the claims, or said claims Nos. 50-52 are so inadequately supported by the description that no meaningful opinion could be formed.

☒ no international search report has been established for the said claims Nos. 50-52

☐ the nucleotide and/or amino acid sequence listing does not comply with the standard provided for in Annex C of the Administrative Instructions in that:

the written form

☐ has not been furnished

☐ does not comply with the standard

the computer readable form

☐ has not been furnished

☐ does not comply with the standard

☐ the tables related to the nucleotide and/or amino acid sequence listing, if in computer readable form only, do not comply with the technical requirements provided for in Annex C-bis of the Administrative Instructions.

☒ See separate sheet for further details

**INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT
ON PATENTABILITY**

International application No. **PCT/US2004/041786**

101

Box No. IV Lack of unity of invention

1. ☐ In response to the invitation to restrict or pay additional fees, the applicant has:
- ☐ restricted the claims.
 - ☐ paid additional fees.
 - ☐ paid additional fees under protest.
 - ☐ neither restricted nor paid additional fees.
2. ☒ This Authority found that the requirement of unity of invention is not complied with and chose, according to Rule 68.1, not to invite the applicant to restrict or pay additional fees.
3. This Authority considers that the requirement of unity of invention in accordance with Rules 13.1, 13.2 and 13.3 is
- ☐ complied with.
 - ☒ not complied with for the following reasons:
see separate sheet
4. Consequently, this report has been established in respect of the following parts of the international application:
- ☒ all parts.
 - ☐ the parts relating to claims Nos. .

Box No. V Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes: Claims	
	No: Claims	1-49
Inventive step (IS)	Yes: Claims	
	No: Claims	1-49
Industrial applicability (IA)	Yes: Claims	1-49
	No: Claims	

2. Citations and explanations (Rule 70.7):

see separate sheet

**INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT
ON PATENTABILITY**

192 \$
International application No.
PCT/US2004/041786

Box No. VIII Certain observations on the International application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

see separate sheet

Prior Art

1. Reference is made to the following documents:

D1: WO 97/07185 A (SPEAR, CHARLES, E) 27 February 1997 (1997-02-27)

D2: US-A-3 954 674 (REIS ET AL) 4 May 1976 (1976-05-04)

D3: DE 32 34 315 A1 (KLOECKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 22 March 1984
(1984-03-22)

D4: MAHADEVAN V ET AL, ERDOEL ERDGAS KOHLE, URBAN VERLAG, DE,
vol. 48, no. 1, January 1995 (1995-01), pages 33-38, XP000491274 ISSN:
0179-3187

Re Item III

Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability

It is noted that the preliminary examination is only carried out for the parts of the application that have been searched (Rule 66.1(e) PCT). New claims 50-52 filed with the letter of 24.10.2005, has not been searched.

Furthermore it is noted that the new claims 50-52 filed with the letter dated 24.10.2005 introduce subject-matter which extends beyond the content of the application as filed, contrary to Article 34(2)(b) PCT, because no explicit disclosure of the features of said claims (i.e. the mention of the exact values of 1 kW, 2500 MHz and 2400 MHz resp.) could be found in the originally filed application in relation to the system of claim 33, on which claims 50-52 depend.

Consequently, the preliminary examination has been carried out for those parts of the application which have been searched namely claims 1-49 (Rule 66.1(e) PCT).

Re Item IV

Lack of unity of invention

2. According to the PCT International Search and Examination Guidelines, Part III, 10.06

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
REPORT ON PATENTABILITY
(SEPARATE SHEET)**

International application No.

PCT/US2004/041786

(as in force from March 25, 2004), unity of invention has to be considered in the first place only in relation to the independent claims.

3. There are 3 independent claims:

Claim 1 A method for processing a raw solid fuel batch

Claim 33 A multi-element electromagnetic radiation system for processing coal

Claim 47 A method for processing coal and other solid fuels

It appears that within these independent claims unity does not exist for the following reasons:

The "same" or "corresponding" technical feature between claims 1 and 33 on one hand and claim 47 on the other is measuring a property of a solid fuel chosen from a list including percent moisture and exposing said solid fuel to electromagnetic radiation in order to alter said property.

This feature is already known from D1 (see example 1), where the measured properties percent moisture, percent ash, percent volatiles and BTU/lb are given of a raw coal (all these properties are included in the list of claims 1 and 47), which coal is then treated with electromagnetic radiation in order to dry it, i.e. alter at least the property of percent moisture.

Therefore, this feature is not a special (new and inventive) technical feature. Thus, no "same" or "corresponding" special technical features could be found between the independent claims 1 and 47, as required by Rule 13.2 PCT.

Also the common problem underlying the invention, *"treating solid fuels of diverse origins with varying properties to the enhance combustion quality with the use of electromagnetic radiation"*, is already known, (D1: p.5, ln.1-6). No other common problem could be found which could serve as the general inventive concept required by Rule 13.1 PCT. Consequently, claims 1 and 47 are not unitary according to Rule 13 PCT.

4. Thus, the application is split into two groups of (alleged) inventions:

Group I - Claims 1-46, 48, 49

Method and system for processing coal from various sources by means of electromagnetic

radiation, comprising analysing the raw coal, determining the desired properties and accordingly designing the frequency and power-level of the radiation process.

Group II - Claim 47

Method for processing coal by means of electromagnetic radiation at a frequency below 928 MHz.

This preliminary report on patentability has also been established for Group II as according to PCT International Search and Preliminary Examination Guidelines, Part III, 10.76 (March 25, 2004). However, it is considered noted that the application does not fulfill the requirements of unity of invention (Rule 13 PCT).

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

5. The present application does not meet the criteria of Article 33(1) PCT, because the subject-matter of claim 1 is not new in the sense of Article 33(2) PCT.

Using the wording of claim 1 document D1 discloses a method accordingly for processing a raw solid-fuel batch, comprising:

- A. receiving a raw solid-fuel batch for processing
(D1: "a subbituminous coal from the Wyodak seam", Example 1);
- B. measuring one or more properties selected from the following for the raw solid-fuel batch: percent moisture, BTU/lb, percent ash, percent total sulfur, percent of each of various forms of sulfur, percent volatile material, percent fixed carbon, Hardgrove grindability index, trace minerals amounts by weight, and response of the fuel and its individual constituents to electromagnetic radiation
(D1: table of example 1 listing percent moisture, percent ash, percent volatile material and BTU/lb of the raw coal);

- 146 45
- C. determining the fuel properties desired from the solid-fuel batch after processing
(D1: *percent moisture content in example 1, wherein the object is to improve the equilibrium moisture, which is dependent on the desired moisture content after microwave treatment; as also explained on p.7, ln.5-12, this entails the determination of the desired percent moisture after treatment: "... equilibrium moisture content of 2% would correspond to 95% water elimination ...". Also the desired product integrity, i.e. grindability, is determined*);
- D. based on the measured raw solid-fuel properties, designing a system configuration and selecting a power-level profile at a selected frequency that will result in the processed solid-fuel batch having the desired fuel properties
(D1: *as explained in the following passages of D1 adapting the system configuration and power profile of the microwave treatment based on the properties of the feed is an integral part of the method of D1, of which example 1 is an embodiment: p.5, ln.1-6; p.7, ln.13-22; p.11, ln.16-18, i.e. this step is also included in example 1*); and
- E. processing the solid-fuel batch by exposing it to electromagnetic radiation at the selected frequency and power-level profile
(D1: *microwave field generated by twin magnetrons in example 1*).
5. Moreover, it is noted that D1 aims at solving the same problem, as underlying the present application *"treating solid fuels of diverse origins with varying properties to the enhance combustion quality with the use of electromagnetic radiation"* (D1: p.5, ln.1-6) with the same solution as given in claim 1.

Furthermore, it is also noted that it is known from D2 and D3 to adapt the process configuration of a process for improving the combustion quality of coal, to (continuously) measured feed properties in order to optimize the process, while D4 shows the use of microwave radiation to remove sulfur and other impurities from raw coal (see corresponding citations in ISR).

6. The same reasoning as laid out in items above applies, *mutatis mutandis*, to the subject-matter of the corresponding independent claim 33, which therefore is also considered not new. It is noted that features that may not be explicitly included in the disclosure of D1 are

**INTERNATIONAL PRELIMINARY
REPORT ON PATENTABILITY
(SEPARATE SHEET)**

105
1341
International application No.

PCT/US2004/041786

generally known to be inherently included in a system suitable for performing the method of claim 1, and therefore D1 implicitly includes all features of claim 33.

7. The subject-matter of claim 47 is disclosed in claims 16 and 17 of D1 and therefore also considered not new.

8. Dependent claims 2-32 and 34-46 and 48, 49 do not contain any features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the requirements of the PCT in respect of novelty, see D1 and the corresponding passages cited in the search report.

Re Item VIII

Certain observations on the international application

9. Independent claims 1, 33 and 47 are not in the two-part form in accordance with Rule 6.3(b) PCT, which in the present case would be appropriate.

10. Contrary to the requirements of Rule 5.1(a)(ii) PCT, the relevant background art disclosed in the documents D1-D4 is not mentioned in the description, nor are these documents identified therein.

11. The relative term "*most of*" used in claim 5 has no well-recognised meaning and leaves the reader in doubt as to the meaning of the technical features to which it refers, thereby rendering the definition of the subject-matter of said claim unclear, Article 6 PCT.

108

41. The system of claim 40, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured percent moisture of the solid fuel:
- the power of the electromagnetic radiation;
 - the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
 - airflow
42. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a sulfur analyzer configured to measure percent sulfur of the solid fuels during processing.
43. The system of claim 42, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured percent sulfur of the solid fuel:
- the power of the electromagnetic radiation;
 - the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
 - airflow.
44. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes an ash analyzer configured to measure percent ash of the solid fuels during processing.
45. The system of claim 44, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured solid fuel percent ash:
- the power of the electromagnetic radiation;
 - the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
 - airflow.
46. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a trace mineral analyzer configured to measure parts per million (PPM) amounts in the solid fuels during processing.
47. A method for processing coal and other solid fuels comprising:
- measuring one or more properties selected from the following for a raw solid-fuel batch: percent moisture, BTU/lb, percent ash, percent total sulfur, percent of each of various forms of sulfur, percent volatile material, percent fixed carbon, Hardgrove grindability index, trace minerals amounts by weight, and response of the fuel and its individual constituents to electromagnetic radiation; and

194
148

an airflow and by-products handling system configured to flow gas through the processing chamber and to capture and store by-products released in the processing chamber as a consequence of electromagnetic-radiation exposure.

34. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide 15 kW or more of electromagnetic energy per source.
35. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide electromagnetic energy at a frequency of 902 MHz or above for each source.
36. The system of claim 33, wherein the source of electromagnetic energy is suited for commercial processing throughputs and comprises multiple magnetrons and generators for the magnetrons.
37. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a temperature sensor for monitoring the surface temperatures of solid fuel pieces on the conveyor.
38. The system of claim 37, wherein the measurement and feedback system and the controller are configured to monitor the surface temperatures of solid fuels in the chamber to ensure that their temperatures do not reach the ignition temperature of the solid fuel being processed.
39. The system of claim 37, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured solid fuel surface temperatures:
 - the power of the electromagnetic radiation;
 - the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
 - airflow.
40. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a moisture analyzer configured to measure percent moisture of the solid fuels during processing.

200 101

generating electromagnetic energy for pre-heating and for microwave or radio frequency processing at a frequency of 928 MHz or lower and exposing the solid-fuel batch to the energy at those frequencies to alter the measured property.

48. The system of claim 34, wherein the electromagnetic energy is provided at a frequency of 928 MHz or lower for each source.
49. The system of claim 35, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide at least 75 kW of electromagnetic energy per source.
50. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide 1 kW or more of electromagnetic energy per source.
51. The system of claim 33, wherein the electromagnetic energy is provided at a frequency of 2500 MHz or lower for each source.
52. The system of claim 52, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide electromagnetic energy at a frequency of 2400 MHz or above for each source.

PATENT COOPERATION TREATY

84
21

From the INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

PCT

To:

MINTZ, LEVIN, COHN, FERRIS,
GLOVSKY AND POPEO PC
Attn: Mirabito, A. Jason
One Financial Center
Boston, MA 02111
UNITED STATES OF AMERICA

NOTIFICATION OF TRANSMITTAL OF
THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT AND
THE WRITTEN OPINION OF THE INTERNATIONAL
SEARCHING AUTHORITY, OR THE DECLARATION

(PCT Rule 44.1)

Date of mailing (day/month/year) 25/04/2005	
Applicant's or agent's file reference 28377-011-061	FOR FURTHER ACTION See paragraphs 1 and 4 below
International application No. PCT/US2004/041786	International filing date (day/month/year) 10/12/2004
Applicant COALTEK CORPORATION	

Done By AD
☒ Data Entry
☒ Docket Entry
☒ Docket Cross Off
☐ Previously Entered
☐ No Docketing Req
☐ ELITE
☐ Amendment

- ☒ The applicant is hereby notified that the international search report and the written opinion of the International Searching Authority have been established and are transmitted herewith.
Filing of amendments and statement under Article 18:
The applicant is entitled, if he so wishes, to amend the claims of the International Application (see Rule 46).
When? The time limit for filing such amendments is normally 2 months from the date of transmittal of the International Search Report; however, for more details, see the notes on the accompanying sheet.
Where? Directly to the International Bureau of WIPO, 34 chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland, Facsimile No.: (41-22) 740.14.35
For more detailed instructions, see the notes on the accompanying sheet.
- ☐ The applicant is hereby notified that no international search report will be established and that the declaration under Article 17(2)(a) to that effect and the written opinion of the International Searching Authority are transmitted herewith.
- ☐ With regard to the protest against payment of (an) additional fee(s) under Rule 40.2, the applicant is notified that:
 - ☐ the protest together with the decision thereon has been transmitted to the International Bureau together with the applicant's request to forward the texts of both the protest and the decision thereon to the designated Offices.
 - ☐ no decision has been made yet on the protest; the applicant will be notified as soon as a decision is made.
- Reminders**
Shortly after the expiration of 18 months from the priority date, the international application will be published by the International Bureau. If the applicant wishes to avoid or postpone publication, a notice of withdrawal of the international application, or of the priority claim, must reach the International Bureau as provided in Rules 90bis.1 and 90bis.3, respectively, before the completion of the technical preparations for international publication.
The applicant may submit comments on an informal basis on the written opinion of the International Searching Authority to the International Bureau. The International Bureau will send a copy of such comments to all designated Offices unless an international preliminary examination report has been or is to be established. These comments would also be made available to the public but not before the expiration of 30 months from the priority date.
Within 19 months from the priority date, but only in respect of some designated Offices, a demand for international preliminary examination must be filed if the applicant wishes to postpone the entry into the national phase until 30 months from the priority date (in some Offices even later); otherwise, the applicant must, within 20 months from the priority date, perform the prescribed acts for entry into the national phase before those designated Offices.
In respect of other designated Offices, the time limit of 30 months (or later) will apply even if no demand is filed within 19 months.
See the Annex to Form PCT/IB/301 and, for details about the applicable time limits, Office by Office, see the PCT Applicant's Guide, Volume II, National Chapters and the WIPO Internet site.

RECEIVED

Name and mailing address of the International Searching Authority  European Patent Office, P.B. 5818 Patentkan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3018	Authorized officer Toñi Muñoz-Mann MINTZ LEVIN, BOSTON PATENT DOCKET DEPT
---	--

Form PCT/ISA/220 (January 2004)

(See notes on accompanying sheet)

These Notes are intended to give the basic instructions concerning the filing of amendments under article 19. The Notes are based on the requirements of the Patent Cooperation Treaty, the Regulations and the Administrative Instructions under that Treaty. In case of discrepancy between these Notes and those requirements, the latter are applicable. For more detailed information, see also the PCT Applicant's Guide, a publication of WIPO.

In these Notes, "Article", "Rule", and "Section" refer to the provisions of the PCT, the PCT Regulations and the PCT Administrative Instructions respectively.

INSTRUCTIONS CONCERNING AMENDMENTS UNDER ARTICLE 19

The applicant has, after having received the international search report, one opportunity to amend the claims of the international application. It should however be emphasized that, since all parts of the international application (claims, description and drawings) may be amended during the international preliminary examination procedure, there is usually no need to file amendments of the claims under Article 19 except where, e.g. the applicant wants the letter to be published for the purposes of provisional protection or has another reason for amending the claims before international publication. Furthermore, it should be emphasized that provisional protection is available in some States only.

What parts of the international application may be amended?

Under Article 19, only the claims may be amended.

During the international phase, the claims may also be amended (or further amended) under Article 34 before the International Preliminary Examining Authority. The description and drawings may only be amended under Article 34 before the International Examining Authority.

Upon entry into the national phase, all parts of the international application may be amended under Article 28 or, where applicable, Article 41.

When?

Within 2 months from the date of transmittal of the international search report or 18 months from the priority date, whichever time limit expires later. It should be noted, however, that the amendments will be considered as having been received on time if they are received by the International Bureau after the expiration of the applicable time limit but before the completion of the technical preparations for international publication (Rule 46.1).

Where not to file the amendments?

The amendments may only be filed with the International Bureau and not with the receiving Office or the International Searching Authority (Rule 46.2).

Where a demand for international preliminary examination has been/is filed, see below.

How?

Either by cancelling one or more entire claims, by adding one or more new claims or by amending the text of one or more of the claims as filed.

A replacement sheet must be submitted for each sheet of the claims which, on account of an amendment or amendments, differs from the sheet originally filed.

All the claims appearing on a replacement sheet must be numbered in Arabic numerals. Where a claim is cancelled, no renumbering of the other claims is required. In all cases where claims are renumbered, they must be renumbered consecutively (Administrative Instructions, Section 205(b)).

The amendments must be made in the language in which the international application is to be published.

What documents must/may accompany the amendments?

Letter (Section 205(b)):

The amendments must be submitted with a letter.

The letter will not be published with the international application and the amended claims. It should not be confused with the "Statement under Article 19(1)" (see below, under "Statement under Article 19(1)").

The letter must be in English or French, at the choice of the applicant. However, if the language of the international application is English, the letter must be in English; if the language of the international application is French, the letter must be in French.

203

The letter must indicate the differences between the claims as filed and the claims as amended. It must, in particular, indicate, in connection with each claim appearing in the international application (it being understood that identical indications concerning several claims may be grouped), whether

- (i) the claim is unchanged;
- (ii) the claim is cancelled;
- (iii) the claim is new;
- (iv) the claim replaces one or more claims as filed;
- (v) the claim is the result of the division of a claim as filed.

The following examples illustrate the manner in which amendments must be explained in the accompanying letter:

1. [Where originally there were 48 claims and after amendment of some claims there are 51]:
"Claims 1 to 29, 31, 32, 34, 35, 37 to 48 replaced by amended claims bearing the same numbers; claims 30, 33 and 36 unchanged; new claims 49 to 51 added."
2. [Where originally there were 15 claims and after amendment of all claims there are 11]:
"Claims 1 to 15 replaced by amended claims 1 to 11."
3. [Where originally there were 14 claims and the amendments consist in cancelling some claims and in adding new claims]:
"Claims 1 to 6 and 14 unchanged; claims 7 to 13 cancelled; new claims 15, 16 and 17 added." or
"Claims 7 to 13 cancelled; new claims 15, 16 and 17 added; all other claims unchanged."
4. [Where various kinds of amendments are made]:
"Claims 1-10 unchanged; claims 11 to 13, 18 and 19 cancelled; claims 14, 15 and 16 replaced by amended claim 14; claim 17 subdivided into amended claims 15, 16 and 17; new claims 20 and 21 added."

"Statement under article 19(1)" (Rule 48.4)

The amendments may be accompanied by a statement explaining the amendments and indicating any impact that such amendments might have on the description and the drawings (which cannot be amended under Article 19(1)).

The statement will be published with the international application and the amended claims.

It must be in the language in which the international application is to be published.

It must be brief, not exceeding 500 words if in English or if translated into English.

It should not be confused with and does not replace the letter indicating the differences between the claims as filed and as amended. It must be filed on a separate sheet and must be identified as such by a heading, preferably by using the words "Statement under Article 19(1)."

It may not contain any disparaging comments on the international search report or the relevance of citations contained in that report. Reference to citations, relevant to a given claim, contained in the international search report may be made only in connection with an amendment of that claim.

Consequence if a demand for international preliminary examination has already been filed

If, at the time of filing any amendments under Article 19, a demand for international preliminary examination has already been submitted, the applicant must preferably, at the same time of filing the amendments with the International Bureau, also file a copy of such amendments with the International Preliminary Examining Authority (see Rule 62.2(a), first sentence).

Consequence with regard to translation of the international application for entry into the national phase

The applicant's attention is drawn to the fact that, where upon entry into the national phase, a translation of the claims as amended under Article 19 may have to be furnished to the designated/elected Offices, instead of, or in addition to, the translation of the claims as filed.

For further details on the requirements of each designated/elected Office, see Volume II of the PCT Applicant's Guide.

PCT

204

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

(PCT Article 18 and Rules 43 and 44)

Applicant's or agent's file reference 28377-011-061	FOR FURTHER ACTION see Form PCT/ISA/220 as well as, where applicable, Item 5 below.	
International application No. PCT/US2004/041786	International filing date (day/month/year) 10/12/2004	(Earliest) Priority Date (day/month/year) 12/12/2003
Applicant COALTEK CORPORATION		

This International Search Report has been prepared by this International Searching Authority and is transmitted to the applicant according to Article 18. A copy is being transmitted to the International Bureau.

This International Search Report consists of a total of 6 sheets.

☒ It is also accompanied by a copy of each prior art document cited in this report.

1. Basis of the report

- a. With regard to the language, the international search was carried out on the basis of the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.

☐ The international search was carried out on the basis of a translation of the international application furnished to this Authority (Rule 23.1(b)).

- b. ☐ With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, see Box No. I.

2. ☐ Certain claims were found unsearchable (See Box II).

3. ☒ Unity of invention is lacking (see Box III).

4. With regard to the title,

☒ the text is approved as submitted by the applicant.

☐ the text has been established by this Authority to read as follows:

5. With regard to the abstract,

☒ the text is approved as submitted by the applicant.

☐ the text has been established, according to Rule 38.2(b), by this Authority as it appears in Box No. IV. The applicant may, within one month from the date of mailing of this international search report, submit comments to this Authority.

6. With regard to the drawings,

- a. the figure of the drawings to be published with the abstract is Figure No. 4

☒ as suggested by the applicant.

☐ as selected by this Authority, because the applicant failed to suggest a figure.

☐ as selected by this Authority, because this figure better characterizes the invention.

- b. ☐ none of the figures is to be published with the abstract.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No

PCT/US2004/041786

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 C10L9/00 C10L9/08 C10B57/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 C10L C10B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97/07185 A (SPEAR, CHARLES, E) 27 February 1997 (1997-02-27) page 5, lines 1-6; claims page 7, lines 13-22 page 8, lines 19-30 page 11, lines 16-18	1-47
A	US 3 954 674 A (REIS ET AL) 4 May 1976 (1976-05-04) abstract; claims	1-46
A	DE 32 34 315 A1 (KLOECKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 22 March 1984 (1984-03-22) abstract; claims	1-46
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2005

Date of mailing of the international search report

25/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5516 Patanken 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Bertin-van Bonnel, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/US2004/041786

505
206

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MAHADEVAN V ET AL: "PRETREATMENT OF COAL POTENTIALITY OF MICROWAVE AND GAMMA RAY PRETREATMENTS IN THE DESULPHURIZATION, DEMINERALIZATION AND COMMUNUTION" ERDOEL ERDGAS KOHLE, URBAN VERLAG, DE, vol. 48, no. 1, January 1995 (1995-01), pages 33-38, XP000491274 ISSN: 0179-3187 the whole document	1-47

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2004/041786

207

Box II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-46

Method and system for processing coal from various sources by means of electromagnetic radiation, comprising analysing the raw coal, determining the desired properties and accordingly designing the frequency and power-level of the radiation process.

2. claim: 47

Method for processing coal by means of electromagnetic radiation at a frequency below 928 MHz

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/US2004/041786

204

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9707185	A	27-02-1997	AU 6774796 A CA 2229130 A1 WO 9707185 A1	12-03-1997 27-02-1997 27-02-1997
US 3954674	A	04-05-1976	FR 2226084 A5 FR 2215386 A1 FR 2278747 A2 FR 2247957 A6	08-11-1974 23-08-1974 13-02-1976 09-05-1975
DE 3234315	A1	22-03-1984	NONE	

210

From the
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY

PCT

To:

see form PCT/ISA/220

WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY
(PCT Rule 43bis.1)

Date of mailing
(day/month/year) see form PCT/ISA/210 (second sheet)

Applicant's or agent's file reference
see form PCT/ISA/220

FOR FURTHER ACTION
See paragraph 2 below

International application No.
PCT/US2004/041786

International filing date (day/month/year)
10.12.2004

Priority date (day/month/year)
12.12.2003

International Patent Classification (IPC) or both national classification and IPC
C10L9/00, C10L9/08, C10B57/10

Applicant
COALTEK CORPORATION

1. This opinion contains indications relating to the following items:

- ☒ Box No. I Basis of the opinion
- ☐ Box No. II Priority
- ☐ Box No. III Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- ☒ Box No. IV Lack of unity of invention
- ☒ Box No. V Reasoned statement under Rule 43bis.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- ☐ Box No. VI Certain documents cited
- ☐ Box No. VII Certain defects in the international application
- ☒ Box No. VIII Certain observations on the international application

2. FURTHER ACTION

If a demand for international preliminary examination is made, this opinion will usually be considered to be a written opinion of the International Preliminary Examining Authority ("IPEA"). However, this does not apply where the applicant chooses an Authority other than this one to be the IPEA and the chosen IPEA has notified the International Bureau under Rule 58.1bis(b) that written opinions of this International Searching Authority will not be so considered.

If this opinion is, as provided above, considered to be a written opinion of the IPEA, the applicant is invited to submit to the IPEA a written reply together, where appropriate, with amendments, before the expiration of three months from the date of mailing of Form PCT/ISA/220 or before the expiration of 22 months from the priority date, whichever expires later.

For further options, see Form PCT/ISA/220.

3. For further details, see notes to Form PCT/ISA/220.

Name and mailing address of the ISA:



European Patent Office - P.B. 5818 Patentlaan 2
NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas
Tel. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl
Fax: +31 70 340 - 3016

Authorized Officer

Bertin-van Bommel, S

Telephone No. +31 70 340-4231



**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY**

International application No.
PCT/US2004/041786

Box No. 1 Basis of the opinion

1. With regard to the language, this opinion has been established on the basis of the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.
 - ☐ This opinion has been established on the basis of a translation from the original language into the following language , which is the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rules 12.3 and 23.1(b)).
2. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application and necessary to the claimed invention, this opinion has been established on the basis of:
 - a. type of material:
 - ☐ a sequence listing
 - ☐ table(s) related to the sequence listing
 - b. format of material:
 - ☐ in written format
 - ☐ in computer readable form
 - c. time of filing/furnishing:
 - ☐ contained in the international application as filed.
 - ☐ filed together with the international application in computer readable form.
 - ☐ furnished subsequently to this Authority for the purposes of search.
3. ☐ In addition, in the case that more than one version or copy of a sequence listing and/or table relating thereto has been filed or furnished, the required statements that the information in the subsequent or additional copies is identical to that in the application as filed or does not go beyond the application as filed, as appropriate, were furnished.
4. Additional comments:

212 7

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING AUTHORITY**

International application No.
PCT/US2004/041786

Box No. IV Lack of unity of invention

1. ☐ In response to the invitation (Form PCT/ISA/206) to pay additional fees, the applicant has:
- ☐ paid additional fees.
 - ☐ paid additional fees under protest.
 - ☐ not paid additional fees.
2. ☒ This Authority found that the requirement of unity of invention is not complied with and chose not to invite the applicant to pay additional fees.
3. This Authority considers that the requirement of unity of invention in accordance with Rule 13.1, 13.2 and 13.3 is
- ☐ complied with
 - ☒ not complied with for the following reasons:
see separate sheet
4. Consequently, this report has been established in respect of the following parts of the international application:
- ☒ all parts.
 - ☐ the parts relating to claims Nos.

Box No. V Reasoned statement under Rule 43bis.1(a)(i) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Yes: Claims	
	No: Claims	1-47
Inventive step (IS)	Yes: Claims	
	No: Claims	1-47
Industrial applicability (IA)	Yes: Claims	1-47
	No: Claims	

2. Citations and explanations

see separate sheet

Box No. VIII Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

see separate sheet

Prior Art

1. Reference is made to the following documents:

D1: WO 97/07185 A (SPEAR, CHARLES, E) 27 February 1997 (1997-02-27)

D2: US-A-3 954 874 (REIS ET AL) 4 May 1978 (1978-05-04)

D3: DE 32 34 315 A1 (KLOECKNER-HUMBOLDT-DEUTZ AG) 22 March 1984 (1984-03-22)

Re Item IV

Lack of unity of invention

2. According to the PCT International Search and Examination Guidelines, Part III, 10.06 (as in force from March 25, 2004), unity of invention has to be considered in the first place only in relation to the independent claims.

3. There are 3 independent claims:

Claim 1 A method for processing a raw solid fuel batch

Claim 33 A multi-element electromagnetic radiation system for processing coal

Claim 47 A method for processing coal and other solid fuels

It appears that within these independent claims unity does not exist for the following reasons:

The "same" or "corresponding" technical feature between claims 1 and 33 on one hand and claim 47 on the other is exposing solid fuels to electromagnetic radiation.

This feature is already known from D1 (see abstract and claims), where coal is treated with electromagnetic radiation.

Therefore, this feature is not a special (new and inventive) technical feature. Thus, no "same" or "corresponding" special technical features could be found between the independent claims 1 and 47, as required by Rule 13.2 PCT.

Also the common problem underlying the invention, *"treating solid fuels of diverse origins with varying properties to the enhance combustion quality with the use of electromagnetic radiation"*, is already known, (D1: p.5, ln.1-6). No other common problem could be found which could serve as the general inventive concept required by Rule 13.1 PCT. Consequently, claims 1 and 47 are not unitary according to Rule 13 PCT.

4. Thus, the application is split into two groups of (alleged) inventions:

Group I - Claims 1-46

Method and system for processing coal from various sources by means of electromagnetic radiation, comprising analysing the raw coal, determining the desired properties and accordingly designing the frequency and power-level of the radiation process.

Group II - Claim 47

Method for processing coal by means of electromagnetic radiation at a frequency below 928 MHz.

This written opinion has also been established for Group II as according to PCT International Search and Preliminary Examination Guidelines, Part III, 10.76 (March 25, 2004). However, it is considered noted that the application does not fulfill the requirements of unity of invention (Rule 13 PCT).

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

5. The present application does not meet the criteria of Article 33(1) PCT, because the subject-matter of claim 1 is not new in the sense of Article 33(2) PCT.

The document D1 discloses a method for processing coal by measuring raw fuel properties (p.8, ln.25-29), exposing it to electro-magnetic radiation to thereby alter a range of properties (p.8, ln.19-25), whereby the selection of optimum electromagnetic field characteristics depends on the type or rank of coal to be processed (p.5, ln.1-6; p.7, ln.13-22; p.11, ln.16-18), i.e. the system configuration is designed, and the power-level profile and frequency based on the raw fuel properties, as according to claim 1.

Although it is not explicitly stated that a fuel property desired from the fuel batch after processing is determined, this is implied from the list of properties given, that can be altered with the method of D1 (see p.8, ln.19-25).

215 E

5. Moreover, it is noted that D1 aims at solving the same problem, as underlying the present application *"treating solid fuels of diverse origins with varying properties to the enhance combustion quality with the use of electromagnetic radiation"* (D1: p.5, ln.1-6) with the same solution as given in claim 1.

Furthermore, it is also noted that it is known from D2 and D3 to adapt the process configuration of a process for improving the combustion quality of coal, to (continuously) measured feed properties in order to optimize the process (see corresponding citations in ISR).

6. The same reasoning as laid out in items above applies, *mutatis mutandis*, to the subject-matter of the corresponding independent claim 33, which therefore is also considered not new.

7. The subject-matter of claim 47 is disclosed in claims 16 and 17 of D1 and therefore also considered not new.

8. Dependent claims 2-32 and 34-46 do not contain any features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the requirements of the PCT in respect of novelty, see D1 and the corresponding passages cited in the search report.

Re Item VIII

Certain observations on the International application

9. In present claim 1 the steps of measuring raw fuel properties and determining the fuel properties desired, and the step of based on the measured properties designing a system configuration are unclear (Article 6 PCT). When reading the claim it is not entirely clear to which feature these steps refer. As they appear to refer to the last step of processing the solid fuel batch by exposing it to electromagnetic radiation, it is believed the claim would be clearer when drafted in the two-part form in accordance with Rule 6.3(b) PCT. The latter step, as well as other steps known from D1 would have to be placed in the preamble (Rule 6.3(b)(I) PCT).

10. The relative term *"most of"* used in claim 5 has no well-recognised meaning and leaves

216 \$

**WRITTEN OPINION OF THE
INTERNATIONAL SEARCHING
AUTHORITY (SEPARATE SHEET)**

International application No.

PCT/US2004/041786

the reader in doubt as to the meaning of the technical features to which it refers, thereby rendering the definition of the subject-matter of said claim unclear, Article 6 PCT.

2178

IN THE EUROPEAN PATENT OFFICE
AS INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

International Application No. : PCT/US2004/041786
International Filing Date : 10 December 2004 (10.12.2004)
Earliest Priority Date : 12 December 2003 (12.12.2003)
Applicant(s) : COALTEK CORPORATION
Title : A PRE-BURNING, DRY PROCESS
METHODOLOGY AND SYSTEMS FOR
ENHANCING SOLID FUEL PROPERTIES

European Patent Office
Erhardtstrasse 27
D-80331 Munich
GERMANY

TRANSMITTAL

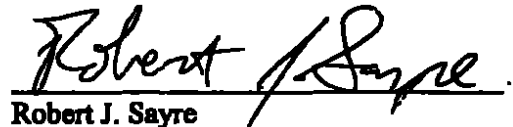
Transmitted herewith is the following for filing in the above-referenced application:

- Amendment to the claims under Article 34 with substitute sheets of the claims (2 sheets, pages 56 and 57.1)(4 sheets total); and
- EPO Form 1037.1 (1 sheet).

If the enclosed papers are considered incomplete, the Authorized Officer is respectfully requested to contact the undersigned at 617-542-6000, Boston, Massachusetts, USA.

The IPEA is authorized to charge any additional fees that may be due, or to credit any overpayment, to the undersigned's account, Deposit Account No. 2830-0226, Ref. No. 28377-011-061.

Respectfully submitted,



Robert J. Sayre
A. Jason Mirabito
MINTZ, LEVIN, COHN, FERRIS,
GLOVSKY and POPEO, P.C.
One Financial Center
Boston, Massachusetts 02111
United States of America
Telephone: 617-542-6000
Facsimile: 617-542-2241

Docket No.: 28377-011-061
Date: 24 October 2005 (24.10.2005)

IN THE EUROPEAN PATENT OFFICE
AS INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

International Application No. : PCT/US2004/041786
International Filing Date : 10 December 2004 (10.12.2004)
Earliest Priority Date : 12 December 2003 (12.12.2003)
Applicant(s) : COALTEK CORPORATION
Title : A PRE-BURNING, DRY PROCESS
METHODOLOGY AND SYSTEMS FOR
ENHANCING SOLID FUEL PROPERTIES

European Patent Office
Erhardtstrasse 27
D-80331 Munich
GERMANY

AMENDMENT UNDER ARTICLE 34

This amendment is submitted as a second filing under Article 34 in the above-referenced international patent application.

Claim 34 and 35 are amended, and new claims 48-52 are added, as noted herein. Applicant respectfully requests entry of this amendment in the referenced application under Article 34. In accordance with PCT Rule 66.8(a), replacement pages 56 and 57.1 are attached.

Claims 34 and 35 have been amended to remove particular limitations from those claims and to change "generator module" to "source" so as to provide language that more closely tracks that used in parent claim 33. The limitations that have been removed are reintroduced in new claims 48 and 49. Support for these amendments is found in the original specification at page 33, lines 15-17. New claim 50 is supported, e.g., at page 19, lines 19-23, and in Tables 5-7 on pages 47-49, of the specification, as filed. New claims 51 and 52 correspond to an ISM-approved band allocation and are supported at page 11, lines 5-8, and in FIG. 1.

Accordingly, the present amendment does not introduce new matter.

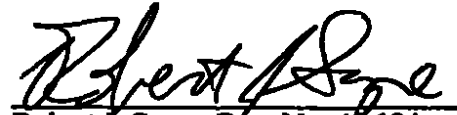
Conclusion

Applicant respectfully solicits a positive statement from the IPEA with respect to each of the issues addressed above. If the prosecution of this application can be expedited or

219 97

facilitated via teleconference, the IPEA is invited to contact the undersigned at the telephone number listed below.

Respectfully submitted,



Robert J. Sayre, Reg. No. 42,124
Attorney for Applicants
c/o MINTZ, LEVIN
One Financial Center
Boston, Massachusetts 02111
Tel: 1.617.542.6000
Fax: 1.617.542.2241

220 \$

an airflow and by-products handling system configured to flow gas through the processing chamber and to capture and store by-products released in the processing chamber as a consequence of electromagnetic-radiation exposure.

- 5
34. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide 15 kW or more of electromagnetic energy per source.
35. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide electromagnetic energy at a frequency of 902 MHz or above for each source.
- 10
36. The system of claim 33, wherein the source of electromagnetic energy is suited for commercial processing throughputs and comprises multiple magnetrons and generators for the magnetrons.
37. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a temperature sensor for monitoring the surface temperatures of solid fuel pieces on the conveyor.
- 15
38. The system of claim 37, wherein the measurement and feedback system and the controller are configured to monitor the surface temperatures of solid fuels in the chamber to ensure that their temperatures do not reach the ignition temperature of the solid fuel being processed.
- 20
39. The system of claim 37, wherein the controller is programmed to adjust one or more of the following based on measured solid fuel surface temperatures:
- the power of the electromagnetic radiation;
 - the duration of the electromagnetic-radiation exposure; and
 - airflow.
- 25
40. The system of claim 33, wherein the measurement and feedback system includes a moisture analyzer configured to measure percent moisture of the solid fuels during processing.

221 B

generating electromagnetic energy for pre-heating and for microwave or radio frequency processing at a frequency of 928 MHz or lower and exposing the solid-fuel batch to the energy at those frequencies to alter the measured property.

- 5 48. The system of claim 34, wherein the electromagnetic energy is provided at a frequency of 928 MHz or lower for each source.
49. The system of claim 35, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide at least 75 kW of electromagnetic energy per source.
50. The system of claim 33, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide 1 kW or more of electromagnetic energy per source.
- 10 51. The system of claim 33, wherein the electromagnetic energy is provided at a frequency of 2500 MHz or lower for each source.
52. The system of claim 52, wherein the electromagnetic-radiation-generating system can provide electromagnetic energy at a frequency of 2400 MHz or above for each source.

222 3



Europäisch
es
Patentamt

European
Patent
office

Office
européen
des brevets

Insender / Sender / Expéditeur :

24 October 2005
Mark C. Toomey
Mintz, Levin, Cohn, Ferris, Glovsky and
Popeo, P.C.
One Financial Center
Boston, Massachusetts 02111
United States of America

DE D-80298 München
☎ (+49-89) 2399-0
Tx 523 858 epnu d
Fax (+49-89) 23 99-44 65
DE P.B. 5818 Patentamt 2
NL-2280 HV Rijswijk
☎ (+31-70) 340-2040
Tx 31 881 epo nl
Fax (+31-70) 340-3016
DE D-10588 Berlin
☎ (+49-30) 25901-0
Fax (+49-30) 25901-840

Bestätigung über den
Eingang nachgereichter
Unterlagen für Patentan-
meldungen/Patente beim
Europäischen Patentamt

Acknowledgement of
receipt for subsequently
filed items relating to
patent applications/patents
at the European Patent
Office

Accusé de réception à
l'Office européen des bre-
vets de pièces produites
postérieurement au dépôt
d'une demande de brevet/
à la délivrance d'un brevet
européen

Datum und Ort des Eingangs sind aus
der Perforation dieser Eingangsbestäti-
gung ersichtlich

Date and place of receipt are shown by
the perforation appearing on this receipt

La date et le lieu de réception sont indi-
qués par la perforation du présent accusé
de réception

(M + Datum = Einreichungsort München;
H + Datum = Einreichungsort Den Haag;
Datum + B = Einreichungsort Berlin)

(M + date = Munich as place of receipt;
H + date = The Hague as place of
receipt; date + B = Berlin as place of
receipt)

(M + date = pièces reçues à Munich;
H + date = pièces reçues à La Haye;
date + B = pièces reçues à Berlin)

Eingereichte Unterlagen

Items filed

Pièces envoyées

Anmeldungs- (und Direktions-) Nr./Patent Nr. Application (and Directorate) No./Patent No. N° de la demande (et de la direction)/n° du brevet	Ihr Zeichen Your reference Votre référence	ggf. Art und Datum der Unterlagen** Nature and date of items (optional)** Nature et date des pièces (facultatif)**
1 PCT/US2004/041786	28377-011-061	Amendments under PCT Art. 34; Form EPO 1037.1

* falls bereits bekannt

* if already known

* si déjà connu

* Der Eingang der angegebenen Unterlagen
wird bestätigt.
Enthält diese Spalte keine Eintragungen, so
wird lediglich bestätigt, daß eine Sendung
zu dem angegebenen Aktenzeichen einge-
gangen ist.

** The receipt of the items indicated is
confirmed.
If this column does not contain any
entries, it is only confirmed
that an item has been received for
the indicated file.

** La réception des pièces indiquées est
confirmée.
Faute de mention dans cette colonne, le
présent accusé de réception se rapporte à
une pièce quelconque envoyée sous la
référence indiquée.

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCT

NOTIFICATION CONCERNING
SUBMISSION OR TRANSMITTAL
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

To:

MIRABITO, A, Jason
Mintz, Levin, Cohn, Ferria, Glovsky and Popeo, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

Date of mailing (day/month/year) 15 February 2005 (15.02.2005)	
Applicant's or agent's file reference 28377-011-081 (C)	IMPORTANT NOTIFICATION
International application No. PCT/US04/041786	International filing date (day/month/year) 10 December 2004 (10.12.2004)
International publication date (day/month/year)	Priority date (day/month/year) 12 December 2003 (12.12.2003)
Applicant COALTEK CORPORATION et al	

1. By means of this Form, which replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents, the applicant is hereby notified of the date of receipt by the International Bureau of the priority document(s) relating to all earlier application(s) whose priority is claimed. Unless otherwise indicated by the letters "NR", in the right-hand column or by an asterisk appearing next to a date of receipt, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. (If applicable) The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which, on the date of mailing of this Form, had not yet been received by the International Bureau under Rule 17.1(a) or (b). Where, under Rule 17.1(a), the priority document must be submitted by the applicant to the receiving Office or the International Bureau, but the applicant fails to submit the priority document within the applicable time limit under that Rule, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
3. (If applicable) An asterisk (*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b) (the priority document was received after the time limit prescribed in Rule 17.1(a) or the request to prepare and transmit the priority document was submitted to the receiving Office after the applicable time limit under Rule 17.1(b)). Even though the priority document was not furnished in compliance with Rule 17.1(a) or (b), the International Bureau will nevertheless transmit a copy of the document to the designated Offices, for their consideration. In case such a copy is not accepted by the designated Office as the priority document, Rule 17.1(c) provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

Priority date

Priority application No.

Country or regional Office
or PCT receiving OfficeDate of receipt
of priority document

12 December 2003 (12.12.2003)

80/529,204

US

24 January 2005 (24.01.2005)

RECEIVED

FEB 23 2005

MINTZ LEVIN, BOSTON
PATENT DOCKET DEPT

☒ Data Entry	Done By
☐ Docket Entry	PM
☒ Docket Cross Off	
☐ Previously Entered	
☐ No Docketing Req	
☐ ELITE	
☒ Annulment	

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Piriou Pascal

Facsimile No. +41 22 740 14 35

Facsimile No. +41 22 338 87 20

Telephone No. +41 22 338 8198

From the INTERNATIONAL BUREAU

2248

PCT

NOTIFICATION CONCERNING
TRANSMITTAL OF COPY OF INTERNATIONAL
APPLICATION AS PUBLISHED OR REPUBLISHED

To:

MIRABITO, A, Jason
Mintz, Levin, Cohn, Ferris, Glovsky and Popeo, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUEDate of mailing (day/month/year)
30 June 2005 (30.06.2005)Applicant's or agent's file reference
28377-011-061

IMPORTANT NOTICE

International application No.
PCT/US2004/041786International filing date (day/month/year)
10 December 2004 (10.12.2004)Priority date (day/month/year)
12 December 2003 (12.12.2003)

Applicant

COALTEK CORPORATION et al

The International Bureau transmits herewith the following documents:

- ☒ copy of the international application as published by the International Bureau on 30 June 2005 (30.06.2005) under No. WO 2005/039064
- ☐ copy of international application as republished by the International Bureau on under No. WO
- For an explanation as to the reason for this republication of the international application, reference is made to INID codes (15), (48) or (88) (as the case may be) on the front page of the attached document.

☒ Data Entry	Done By
☐ Docket Entry	AP
☒ Docket Cross Off	
☐ Previously Entered	
☐ No Docketing Req	
☐ ELITE	
☐ Annulment	

RECEIVED
JUL 06 2005
MINTZ LEVIN, BOSTO.
PATENT DOCKET DEPThe International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Beate Giffo-Schmitt

File No.+41 22 740 14 35

Facsimile No.+41 22 338 87 20

T/IB/311 (January 2004)

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCT

FIRST NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF
THE COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL
APPLICATION (TO DESIGNATED OFFICES WHICH
DO NOT APPLY THE 30 MONTH TIME LIMIT
UNDER ARTICLE 22(1))

To:

MIRABITO, A., Jason
Mintz, Levin, Cohn, Ferris, Glovsky and Popeo, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

☒ Data Entry	Done By
☐ Docket Entry	18
☐ Docket Cross Off	
☐ Previously Entered	
☐ No Docketing Req	
☐ FITE	
☐ Annulles	

IMPORTANT NOTICE

JN
Date of mailing (day/month/year)
14 July 2005 (14.07.2005)

Applicant's or agent's file reference
28377-011-061C

International application No.
PCT/US2004/041786

International filing date (day/month/year)
10 December 2004 (10.12.2004)

Priority date (day/month/year)
12 December 2003 (12.12.2003)

Applicant

COALTEK CORPORATION et al

1. **ATTENTION:** For any designated Office(s), for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002 (30 months from the priority date), does apply, please see Form PCT/IB/308(Second and Supplementary Notice) (to be issued promptly after the expiration of 28 months from the priority date).
2. Notice is hereby given that the following designated Office(s), for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002, does not apply, has/have requested that the communication of the international application, as provided for in Article 20, be effected under Rule 93bis.1. The International Bureau has effected that communication on the date indicated below:
30 June 2005 (30.06.2005)

CH

In accordance with Rule 47.1(c-bis)(i), those Offices will accept the present notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

3. The following designated Offices, for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002, does not apply, have not requested, as at the time of mailing of the present notice, that the communication of the international application be effected under Rule 93bis.1:

LU, SE, TZ, UG, ZM

In accordance with Rule 47.1(c-bis)(ii), those Offices accept the present notice as conclusive evidence that the Contracting State for which that Office acts as a designated Office does not require the furnishing, under Article 22, by the applicant of a copy of the international application.

4. TIME LIMITS for entry into the national phase

For the designated Office(s) listed above, and unless a demand for international preliminary examination has been filed before the expiration of 19 months from the priority date (see Article 39(1)), the applicable time limit for entering the national phase will, subject to what is said in the following paragraph, be 20 MONTHS from the priority date.

In practice, time limits other than the 20-month time limit will continue to apply, for various periods of time, in respect of certain of the designated Offices listed above. For regular updates on the applicable time limits (20 or 21 months, or other time limit), Office by Office, refer to the *PCT Gazette*, the *PCT Newsletter* and the *PCT Applicant's Guide*, Volume II, National Chapters, all available from WIPO's Internet site, at <http://www.wipo.int/pct/en/index.html>.

It is the applicant's sole responsibility to monitor all these time limits.

RECEIVED

JUL 20 2005

MINTZ LEVIN, BOSTO.
PATENT DOCKET DEP

The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Beate Giffo-Schmitt

Facsimile No.+41 22 740 14 35

Facsimile No.+41 22 338 87 20

From the INTERNATIONAL BUREAU

PCT**SECOND AND SUPPLEMENTARY NOTICE
INFORMING THE APPLICANT OF THE
COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL
APPLICATION (TO DESIGNATED OFFICES
WHICH APPLY THE 30 MONTH TIME
LIMIT UNDER ARTICLE 22(1))**

(PCT Rule 47.1(c))

To:

226
MIRABITO, A., Jason
Mintz, Levin, Cohn, Ferris, Glovsky and Popeo, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

☒ Data Entry ☐ Docket Entry ☐ Docket Cross Off ☐ Previously Entered ☐ No Docketing Req ☐ ELITE ☐ Annulment	Done By 
--	--

IMPORTANT NOTICE

Date of mailing (day/month/year)
13 April 2006 (13.04.2006)Applicant's or agent's file reference
28377-011-061International application No.
PCT/US2004/041786International filing date (day/month/year)
10 December 2004 (10.12.2004)Priority date (day/month/year)
12 December 2003 (12.12.2003)

Applicant

COALTEK CORPORATION et al

- ATTENTION:** For any designated Office(s), for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002 (30 months from the priority date), does not apply, please see Form PCT/IB/308(First Notice) issued previously.
- Notice is hereby given that the following designated Office(s), for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002, does apply, has/have requested that the communication of the international application, as provided for in Article 20, be effected under Rule 93bis.1. The International Bureau has effected that communication on the date indicated below:
30 June 2005 (30.06.2005)

AU, AZ, BY, CN, CO, DZ, EP, HU, KG, KP, KR, MD, MK, MZ, NA, PG, RU, SY, TM, US

In accordance with Rule 47.1(c-bis)(i), those Offices will accept the present notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

- The following designated Offices, for which the time limit under Article 22(1), as in force from 1 April 2002, does apply, have not requested, as at the time of mailing of the present notice, that the communication of the international application be effected under Rule 93bis.1:

AE, AG, AL, AM, AP, AT, BA, BB, BG, BR, BW, BZ, CA, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EA, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LV, MA, MG, MN, MW, MX, NI, NO, NZ, OA, OM, PH, PL, PT, RO, SC, SD, SG, SK, SL, TJ, TN, TR, TT, UA, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZW

In accordance with Rule 47.1(c-bis)(ii), those Offices accept the present notice as conclusive evidence that the Contracting State for which that Office acts as a designated Office does not require the furnishing, under Article 22, by the applicant of a copy of the international application.

4. TIME LIMITS for entry into the national phase

For the designated or elected Office(s) listed above, the applicable time limit for entering the national phase will, subject to what is said in the following paragraph, be 30 MONTHS from the priority date.

In practice, time limits other than the 30-month time limit will continue to apply, for various periods of time, in respect of certain of the designated or elected Office(s) listed above. For regular updates on the applicable time limits (30 or 31 months, or other time limit), Office by Office, refer to the *PCT Gazette*, the *PCT Newsletter* and the *PCT Applicant's Guide*, Volume II, National Chapters, all available from WIPO's Internet site, at <http://www.wipo.int/pct/en/index.html>.

It is the applicant's sole responsibility to monitor all these time limits.

RECEIVED

APR 24 2006

MINTZ, LEVIN, BOSTO.
PATENT DOCKET DEP.The International Bureau of WIPO
34, chemin des Colombettes
1211 Geneva 20, Switzerland

Authorized officer

Beate Giffo-Schmitt

Facsimile No. +41 22 740 14 35

Facsimile No. +41 22 338 87 20

PATENT COOPERATION TREATY

From the
INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

PCT

227 22

To:
Mirabito, A. Jason
MINTZ, LEVIN, COHN, FERRIS
GLOVSKY and POPEO, P.C.
One Financial Center
Boston, MA 02111
ETATS-UNIS D'AMERIQUE

NOTIFICATION OF RECEIPT OF DEMAND BY COMPETENT INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINING AUTHORITY

(PCT Rules 59.3(e) and 61.1(b), first sentence
and Administrative Instructions, Section 601(a))

Date of mailing (day/month/year) **13-07-2005**

Applicant's or agent's file reference
28377-011-061

IMPORTANT NOTIFICATION

International application No. PCT/US2004/041786	International filing date (day/month/year) 10/12/2004	Priority date (day/month/year) 12/12/2003
---	---	---

Applicant
COALTEK CORPORATION

1. The applicant is hereby notified that this International Preliminary Examining Authority considers the following date as the date of receipt of the demand for international preliminary examination of the international application:

23/06/2005

2. This date of receipt is:
☒ the actual date of receipt of the demand by this Authority (Rule 61.1(b)).
☐ the actual date of receipt of the demand on behalf of this Authority (Rule 59.3(e)).
☐ the date on which this Authority has, in response to the invitation to correct defects in the demand (Form PCT/IPEA/404), received the required corrections.

3. ☐ **ATTENTION:** That date of receipt is after the expiration of 19 months from the priority date. Consequently, in respect of some Offices, the demand does not have the effect of postponing the entry into the national phase until 30 months from the priority date (or later in some Offices) (Article 39(1)) and the acts for entry into the national phase must therefore be performed within 20 months from the priority date (or later in some Offices). However, in respect of some other Offices, the time limit of 30 months (or later) may nevertheless apply. See the Annex to Form PCT/IB/301 and, for details about the applicable time limits, Office by Office, see the *PCT Applicant's Guide*, Volume II, National Chapters and the WIPO Internet site.

RECEIVED
JUL 19 2005
MINTZ LEVIN, BOSTO.
PATENT DOCKET DEPT

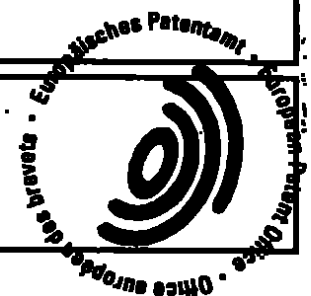
☐ (If applicable) This notification confirms the information given by telephone, facsimile transmission or in person on:

4. Only where paragraph 3 applies, a copy of this notification has been sent to the International Bureau.

Name and mailing address of the IPEA/  European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Netherlands Tel.: (+31-70) 340-2040 Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer MICHEL M N K Tel. (+31-70) 340-3606
---	---

Form PCT/IPEA/402 (April 2002; reprint January 2004)

(08/07/2005)



PATENT COOPERATION TREATY

228

PCT

From the INTERNATIONAL BUREAU

NOTIFICATION OF THE RECORDING
OF A CHANGE(PCT Rule 92bis.1 and
Administrative Instructions, Section 422)

UN

Date of mailing (day/month/year) 13 July 2005 (13.07.2005)		To: MIRABITO, A., Jason Mintz, Levin, Cohn, Fern Glovsky and Popeo, P.C. One Financial Center Boston, MA 02111 United States of America	☒ Data Entry ☐ Docket Entry ☒ Docket Cross Off ☐ Previously Entered ☐ No Docketing Req ☐ ELITE ☐ Annulities	Done By HZ
Applicant's or agent's file reference 28377-011-061 c				
International application No. PCT/US2004/041786		IMPORTANT NOTIFICATION International filing date (day/month/year) 10 December 2004 (10.12.2004)		

1. The following indications appeared on record concerning:			
☐ the applicant	☐ the inventor	☐ the agent	☐ the common representative
Name and Address ATEN, Jed, A. GINTHER, Neil, E. WEINBERG, Jerry, L. WANG, Ru, T.		State of Nationality	State of Residence
		Telephone No.	
		Facsimile No.	
		Teleprinter No.	
2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:			
☐ the person	☐ the name	☐ the address	☐ the nationality ☐ the residence
Name and Address WEINBERG, Jerry, L. GINTHER, Neil, A. ATEN, Jed, A. WANG, Ru, T.		State of Nationality	State of Residence
		Telephone No.	
		Facsimile No.	
		Teleprinter No.	
3. Further observations, if necessary: Please note that the order of the applicant/inventors has changed, as shown in Box 2.			
4. A copy of this notification has been sent to:			
☒ the receiving Office	☒ the designated Offices concerned	RECEIVED JUL 20 2005 MINTZ LEVIN, BOSTO. PATENT DOCKET DEP.	
☐ the International Searching Authority	☐ the elected Offices concerned		
☐ the International Preliminary Examining Authority			

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No. (41-22) 338.87.20	Authorized officer Alexander CRAKER (Fax 338-87-20) Telephone No. (41-22) 338 8348
--	--



FORMATO DE DIGITALIZACION
RELACION DE ANEXOS



Royal
Technologies S.A.
Desarrollo de Software y Servicios

224

Expediente No		06-067928	No de Folio
Item		No de unidades	
1	CD		
2	DVD		
3	REVISTA		
4	LIBRO		
5	PERIODICO		
6	DISQUETES		
7	SOBRE DE MANILA X	1	✓
8	SOBRE BLANCO TAMAÑO CARTA		
9	SOBRE BLANCO TAMAÑO OFICIO		
10	OTROS:		

Observaciones:
CONTIENE ACTA 22/11/11

**REQUISITOS MINIMOS PARA ADMISION A TRAMITE
PCT**

PATENTE DE INVENCION

☒

MODELO DE UTILIDAD []

- ◆ Indicación de que se solicita la concesión de una patente []
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud []
- ◆ Descripción de la invención []
- ◆ Dibujos de ser estos pertinentes []
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas []

COMPLETA ☒

INCOMPLETA []

DISEÑO INDUSTRIAL []

- ◆ Indicación de que se solicita el registro de Diseño Industrial []
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud []
- ◆ Representación gráfica y fotográfica del Diseño Industrial o muestra del material que incorpora el diseño []
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas []

COMPLETA []

INCOMPLETA []

ESQUEMA DE TRAZADO []

- ◆ Indicación de que se solicita el registro de un Esquema de Trazado []
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud []
- ◆ Representación gráfica del esquema trazado []
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas []

COMPLETA []

INCOMPLETA []

Fdo B
Firma Responsable

Fecha 12 - JUL. 8.

Carrera 13 No. 27-00 Piso 5, 7 y 10
Conmutador: 3 82 08 40
Fax: 350 52 20
E-mail: info@slc.gov.co
www.slc.gov.co
Bogotá, D.C., Colombia

231

REPUBLICA DE COLOMBIA
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

Bogotá,
2020

Doctor(a)
RODRIGUEZ DILIA MARIA

REFERENCIA	Radicación No.	6 67528
	Solicitud internacional	US2004/041786
	Fecha inicio fase nacional	12/07/2006
	Trámite	11
	Evento	379
	Actuación	430
	Oficio No.	10462

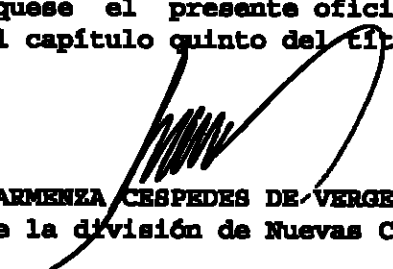
Como resultado del examen de forma, realizado con fundamento en el artículo 38 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, artículo 27 del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT), regla 51 bis del Reglamento y Circular Única de la Superintendencia de Industria y Comercio, se le comunica que:

1. La solicitud no contiene la copia del documento en que consta la cesión del derecho a la patente del inventor al solicitante o a su causante. (Art. 26-k) Decisión 486.

2. La solicitud no contiene el poder debidamente otorgado, con el lleno de los requisitos exigidos por los artículos 63 y subsiguientes del Código de Procedimiento Civil. Adicionalmente, deberá presentar el documento que acredita la existencia y representación legal de la sociedad solicitante, cuando ésta fuere persona jurídica.

En cumplimiento de lo dispuesto por el artículo 39 de la Decisión 486, se le requiere para que dentro del término de dos meses siguientes a la fecha de notificación del presente oficio, complete los requisitos anteriormente enunciados. En caso de no dar cumplimiento al presente requerimiento, la solicitud se considerará abandonada y perderá su prelación.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Única No.10 de 2001.


ALIX CARMONA CESPEDES DE VERGEL
Jefe de la división de Nuevas Creaciones

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista de fecha 15 SET. 2008
adpall