

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Plan de Investigación de fin de carrera titulado:

“Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.”

Realizado por:

Antonio Fernando Otero Ulloa

Director del proyecto:

Ing. Katty Coral

Como requisito para la obtención del título de:

Ingeniero Ambiental

2014-2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



DECLARACION JURAMENTADA

Yo, Antonio Fernando Otero Ulloa, con cédula de identidad # 171779305-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Antonio Fernando Otero Ulloa

C.C.: 1717793051

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:
“Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.”

Realizado por:
Antonio Fernando Otero Ulloa

como Requisito para la Obtención del Título de:
INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por la Profesor (a)
Ing. Katty Coral

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Ing. Katty Coral
DIRECTOR (A)

DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

Ing. Katty Coral

Ing. Jorge Oviedo

Ing. Ana Lucia Rodríguez

Después de revisar el trabajo presentado, por el alumno Antonio Fernando Otero Ulloa

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Ing. Katty Coral

Director (a)



Ing. Jorge Oviedo

Revisor 1



Ing. Ana Lucia Rodríguez

Revisor 2

Quito, 29 de Julio de 2015

Dedicatoria

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinito amor.

A mis Padres.

Por haberme apoyado en todo momento, por su valor mostrado para salir adelante ante cualquier circunstancia, por sus consejos, por su sacrificio diario para que nunca me falte nada, por inculcar buenos valores en mí y ser una persona de bien pero más que nada por su amor incondicional.

A mi Familia.

Hermanos y sobrinos, por estar siempre pendiente de mí, por apoyarme en todo momento y ser el pilar fundamental en todo lo que soy.

A mi Novia Anita.

Por su apoyo incondicional, por su confianza, por su amor y paciencia pero sobre todo por darme la fortaleza y animo en momentos que creía que me iba a rendir.

Todo este trabajo se los dedico ya que ha sido posible gracias a ellos.

Agradecimiento

Ing. Katty Coral

Agradezco, por su apoyo, no solo en este proyecto sino a lo largo de mi carrera, por compartir sus conocimientos, por sus consejos y sobre todo por la confianza que deposito en mí para poder alcanzar esta meta.

Ing. Jorge Oviedo

Agradezco, por su confianza, por su apoyo, y sobre todo por brindarme su amistad y poder contar en todo momento.

Ing. Ana Lucia Rodríguez

Agradezco, por su paciencia y tiempo al momento de compartir sus sabios conocimientos que han enriquecido a mi persona para poder alcanzar esta meta.

Gracias a todos ellos ya que sin su apoyo no sería posible esto.

Tabla de Contenido

Resumen.....	11
Abstract.....	12
Capítulo I.....	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1 Descripción del tema a desarrollar.....	13
1.2 Antecedentes	14
1.3 Importancia del estudio.....	14
1.4 Objetivo General.....	15
1.5 Objetivos Específicos	16
1.6 Características del Sitio	16
Capítulo II	17
2. Estudios previos	17
2.1 Estado actual del conocimiento científico	18
2.2 Marco legal	19
2.3	Marco Conceptual
.....	21
2.3.1 Residuo sólido urbano	21
2.3.2 Poder calórico	22
2.3.3 Incineración.....	22
2.3.4 Aprovechamiento.....	23
3.1 Método	24
3.2 Metodología	24
3.2.1 De Campo:.....	25
3.2.2 De Laboratorio:	26
3.2.3 Procedimiento para la obtención de poder calórico	26
3.2.3.1 Secado de Muestras:	26
3.2.3.2 Compresión de la muestra:	27
3.2.3.3 Combustión de Muestras:	28

3.2.3.4 Determinación de Ácido Nítrico y Azufre:.....	28
3.2.3.5 Constante de Equipo:.....	29
3.2.3.6 Correcciones termoquímicas:	31
3.2.3.7Cálculo del Poder Calórico Superior (PCS):	31
3.2.3.8 Cálculo del Poder Calórico Inferior (PCI):.....	32
3.2.4 Tratamiento Estadístico de Datos:	33
3.2.5 Materiales y Equipos	34
3.2.5.1 Equipos:	34
3.2.5.2 Reactivos.....	34
3.2.5.3 Materiales.....	34
Capítulo IV	35
4. Resultados.....	35
4.1 Presentación de Resultados.....	35
4.2 Análisis de Resultados	35
Capítulo V.....	49
5.1 Conclusiones.....	49
5.2 Recomendaciones	51
6.MATERIALES DE REFERENCIA (BIBLIOGRAFÍA).....	54
ANEXO A: FOTOGRAFÍAS	56
ANEXO B: ENSAYOS INDIVIDUALES DE COMBUSTIÓN Y PRECIPITACIÓN	61

Índice de Ecuaciones

Ecuación No. 1 Porcentaje de Humedad.....	27
Ecuación No. 2 Porcentaje de Azufre.....	29
Ecuación No. 3 Cálculo de la Constante del Equipo.....	30
Ecuación No. 4 Cálculo del Aumento de Temperatura.....	30
Ecuación No. 5 Cálculo del calor de combustión.....	32
Ecuación No. 6 Cálculo de poder calórico inferior.....	32
Ecuación No. 7 Media Aritmética.....	33
Ecuación No. 8 Desviación Estándar.....	33

Índice de Tablas

Tabla No 1: PCS Mixto.....	37
Tabla No. 2: PCI Mixto.....	38

Tabla No. 3: PCS Textil.....	39
Tabla No.4 PCI Textil.....	40
Tabla No.5: PCS General.....	41
Tabla No.6: PCI General.....	42
Tabla No.7: Humedad Mixta.....	43
Tabla No.8: Humedad Textil.....	44
Tabla No.9: PCS Combustibles de uso común.....	45
Tabla No.10 Comparación PCS 2014 vs 2015.....	46
Tabla No.11: Comparación PCI 2014 vs 2015.....	47
Tabla No.12: Media Aritmética, Desviación Estándar y Error Medio del PCS y PCI calculado.....	48

Índice de Gráficas

Gráfica No.1: Composición Mixta PCS: ET1 vs ET2.....	37
Gráfica No.2: Composición Mixta PCI: ET1 vs ET2.....	38
Gráfica No.3: Textil PCS:ET1 vs ET2.....	39
Gráfica No.4: Textil PCI:ET1 vs ET2.....	40
Gráfica No.5: Poder Calórico Superior General.....	41
Gráfica No.6: Poder Calórico Inferior General.....	42
Gráfica No.7: Humedad Composición Mixta.....	43
Gráfica No.8: Humedad Textil.....	44
Gráfica Figura No.9: PCS Combustibles.....	45
Gráfica No.10 Comparación PCS 2014 vs 2015.....	46
Gráfica No.11 Comparación PCI 2014 vs 2015.....	47

Resumen

La generación de residuos sólidos urbanos en el Ecuador se ha incrementado en las últimas décadas. En el caso del Distrito Metropolitano de Quito, el sistema de manejo integral de residuos, cuenta con una única alternativa de manejo conocido como disposición final en rellenos sanitarios. Siendo la ciudad de Quito la segunda ciudad más poblada del país y conociendo que la generación de residuos sólidos urbanos tiende a crecer con el tiempo, resulta necesario analizar posibles alternativas de tratamiento. El presente proyecto tuvo como objetivo cuantificar el Poder Calórico Superior e Inferior de dos tipos de residuos sólidos urbanos: textil y de composición mixta; los mismos obtenidos de las Estaciones de Transferencia Sur y Norte del DMQ y fueron analizados a partir de un método experimental que empleó como principal instrumento a la bomba calorimétrica y a la titulación como principal técnica analítica. Como resultado de las cuarenta y ocho muestras analizadas en laboratorio se pudo determinar que el residuo que presenta el mayor PCS es el textil, con un valor promedio de 5351 kcal/kg y una humedad promedio de 6.63%, baja en comparación al residuo de tipo mixto, indicando que la relación humedad – poder calórico, es inversamente proporcional. Los datos obtenidos junto con los análisis que han sido realizados, permiten evaluar al tratamiento térmico de los residuos como una alternativa de aprovechamiento energético dentro de un sistema de gestión integral.

Palabras claves: Residuos Sólidos, Poder Calórico, Bomba Calorimétrica, Aprovechamiento Energético

Abstract

The generation of urban solid waste in Ecuador has increased in the last decades. In the case of the Metropolitan District of Quito, the Management of Solid Waste relies in just one alternative which is the disposition of waste in landfills. Being Quito, the second most inhabit city of the country and knowing that the generation of solid waste will tend to grow over the time, it is imperative to analyze other possible treatment alternatives. The present project had as principle objective to quantify the Gross Heat of Combustion and the Neat Heat of Combustion from to types of solid waste: textile and mix composition. The waste were took from the District's South and North Transfer Centers and were analyzed using an experimental method that used as main instrument a calorimetric bomb and titulation as the main analytical technique. As a result of the forty eight tested samples, it could determine that the solid waste that presented the biggest Gross Heat of Combustion were textile, with an average value of 5351 kcal/kg and an average humidity of 6.63%, low in comparison to the other types of solid wastes, indicating that the relation humidity – heat of combustion is inversely proportional. All the data obtained and the analyses that were made allowed us to evaluate the thermic treatment of solid waste as an alternative of energy recovery inside an integral management system.

Key Words: Solid Waste, Heat of Combustion, Calorimetric Bomb, Energy Recovery.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del tema a desarrollar

El tema del poder calórico ha sido poco estudiado, pese a su gran importancia para establecer la factibilidad en el aprovechamiento de los residuos sólidos urbano, dentro del Distrito Metropolitano de Quito. En la actualidad no se registran datos respecto a la capacidad calorífica y potencial uso energético de los residuos sólidos urbanos del DMQ, la carencia de una valorización energética ha significado pérdidas a nivel ambiental, económico y social, por esta razón, es necesario identificar dicho potencial energético de los RSU para implementar posibles alternativas de aprovechamiento energético.

El aprovechamiento de energía a partir de RSU puede efectuarse sometiendo a los residuos a tres tipos de tratamientos: digestión anaerobia, gasificación e incineración, este último ha sido ya utilizado en otras ciudades y países ya que además de obtener energía, permite la reducción en volumen de los residuos que llegan al relleno, sin embargo su implementación en el Sistema de Gestión de Residuos Municipal requiere de un análisis cuidadoso que tome en cuenta las características particulares de cada tipo de residuo.

A través de la cuantificación del poder calórico superior e inferior se va a determinar la cantidad de energía que una cantidad conocida de masa puede desprender al producirse una reacción química de oxidación, en este caso, al someter a un tipo de residuo a un proceso de combustión se puede valorar la eficiencia de cada uno de ellos para actuar como combustibles en el proceso de incineración.

La identificación clara de aquellos residuos que desprenden mayores cantidades de energía puede ser el inicio de la incorporación de esta alternativa energética dentro del sistema de manejo de residuos de la ciudad. El establecer si un residuo en específico o la

mezcla de ellos puede ser más aprovechable en términos de generación de energía es fundamental, ya que a partir de dicha información se podrá definir su factibilidad en relación a los beneficios económicos y socio ambientales que dicha alternativa acarrearía.

1.2 Antecedentes

Con el incremento poblacional, la generación de residuos sólidos urbanos ha aumentado de forma diaria, creando un problema de tipo socioeconómico y ambiental. El actual mecanismo con el que cuenta el (DMQ) es la disposición final de los RSU en el relleno sanitario de El Inga, la operación del mismo consiste en la compactación y enterramiento sin ningún tipo de clasificación previa.

La aplicación de esta modalidad de disposición final conlleva múltiples inconvenientes, entre estos, la generación de gases producto de la digestión anaerobia, lixiviados producto de los procesos de escorrentía y cambios en la composición del suelo; todos estos factores junto al aumento en la producción de los RSU, han generado la disminución progresiva de la vida útil del relleno.

Las características de los distintos residuos sólidos urbanos han revelado que sus propiedades pueden ser aprovechadas en lugar de que los mismos se conviertan en un problema ambiental. Los residuos constituyen entonces, una fuente importante para realizar varios estudios orientados a la creación de nuevas alternativas de gestión.

Una de estas alternativas es el aprovechamiento energético, actualmente este criterio no se ejecuta dentro del Sistema de Gestión Municipal, sin embargo se conoce que su potencial aplicación genera beneficios de orden económico y ambiental.

1.3 Importancia del estudio

El actual escenario de gestión de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano no incluye ningún tipo de tratamiento destinado al aprovechamiento de sus propiedades, la causa principal radica en la ausencia de conocimiento y

experimentación científica acerca de las características que presentan estos potenciales recursos. La expansión del conocimiento en relación al tratamiento térmico de los residuos ha sido una alternativa frecuentemente analizada, sin embargo y al igual que otras alternativas de gestión, la falta de datos ha condicionado su factibilidad. La determinación del poder calórico superior e inferior de los residuos, es necesaria para conocer el comportamiento de los mismos durante el proceso de incineración, es decir, identificar si es que estos potenciales recursos pueden ser utilizados ya sea como combustibles o en la obtención de energía térmica o eléctrica. En el caso particular de este proyecto de fin de carrera se escogió a los residuos de tipo mixto y textil, ya que los mismos presentan características interesantes que pueden ser evaluadas. En el caso del residuo mixto se considera importante la cuantificación de su poder calórico ya que bajo el escenario de gestión actual, que se caracteriza por la ausencia de clasificación en la fuente, es una alternativa que reduciría costos operativos y para el caso del residuo textil resulta importante continuar con la cuantificación de su poder calórico ya que en investigaciones de años anteriores ha revelado valores de poder calórico importantes.

La metodología para la determinación de los valores de poder calórico superior e inferior, es de igual importancia, ya que permite obtener información real sobre los residuos. El aumento en el número de muestras analizadas permite generar aportes más significativos y a su vez el perfeccionamiento de la metodología en relación a las técnicas y usos de los protocolos.

1.4 Objetivo General

Cuantificar el poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos textil y de composición mixta, del Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

1.5 Objetivos Específicos

1.5.1 Generar una base de datos de poder calórico superior e inferior a partir de nuevos estudios enmarcados en la línea de investigación desarrollada por la FCA de la UISEK.

1.5.2 Determinar si los residuos urbanos de tipo textil y de composición mixta presentan el poder calórico suficiente para funcionar como combustible en el proceso de incineración.

1.5.3 Identificar los residuos sólidos con mayor potencial energético en el DMQ.

1.6 Características del Sitio

Actualmente la institución encargada de la gestión integral de RSU en el DMQ es la empresa municipal EMGIRS-EP; misma que se encarga de las fases de transporte, transferencia y disposición final. En las fases de transporte y transferencia, los desechos se vacían en dos estaciones de transferencia que varían de acuerdo a la ruta de recolección. La Estación de Transferencia Sur (ET1), ubicada en Quitumbe ([Ver Anexo A-Imagen No. 1](#)), y la Estación de Transferencia de Porotohuayco (ET2), localizada a la entrada de Zámbriza ([Ver Anexo A-Imagen No.2](#)), estas estaciones fueron creadas con el propósito de optimizar el tiempo de recolección y clasificación de residuos y optar por una mejor disposición final de los mismos (Orellana, 2012).

En cuanto a las cantidades de RSU provenientes del DMQ según (Orellana, 2012) la ET2 es la que recibe mayor cantidad de RSU provenientes del DMQ a comparación de la ET1, su capacidad oscila en las 800 ton/día mientras que la ET1 recepta 700 t/día.

Dentro de la fase de disposición final el DMQ cuenta con un relleno sanitario semi tecnificado conocido como “El Inga” ([Ver Anexo A-Imagen No.3](#)), el cual se encuentra ubicado a 45 km de la ciudad de Quito, dentro de una zona industrial en el sector El Inga Bajo y se extiende en un área de 200 000 m². En términos generales, el relleno cuenta

con celdas impermeabilizadas, con geomembranas y capa de recubrimiento de tierra; cuenta con 20 piscinas que pertenecen a un sistema que recoge lixiviados para su post tratamiento y drenajes de recolección de aguas lluvias y aguas freáticas (Orellana, 2012). A este relleno llegan aproximadamente 1600 toneladas de desechos y genera 300 m³ de lixiviados diariamente (S.A, 2012), este relleno es el encargado de recibir la mayor parte de los RSU que se obtiene por medio de la recolección realizada por EMASEO y es considerado como clave en todo el proceso de gestión.

Capítulo II

2. Estudios previos

En relación a las investigaciones previas realizadas en torno a los residuos sólidos urbanos, es necesario destacar que no han sido muy numerosas. La temática de los RSU en el Distrito Metropolitano de Quito no ha sido ampliamente estudiada, lo que se refleja directamente en la ausencia de datos certeros sobre las propiedades de los residuos, sin embargo a partir del año 2013 instituciones de nivel académico han decidido incorporar dentro de sus líneas de investigación a los residuos sólidos.

Bajo este enfoque, la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK, ha dirigido varios proyectos de investigación con el principal objetivo de conocer aquellas propiedades de los RSU y en base a esos resultados poder darles un tratamiento eficiente. Uno de los principales proyectos que se ha realizado en base a los RSU y su poder calórico es la “CUANTIFICACIÓN DEL PODER CALÓRICO SUPERIOR E INFERIOR DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. Año 2013-2014” (Ribadeneira, 2013).

Estos estudios han servido como base para la continuidad de más investigaciones y el perfeccionamiento de su metodología, tomando en cuenta recomendaciones de estudios

previos ya mencionadas que se relacionan al poder calórico de los residuos sólidos y su aprovechamiento energético.

El estudio actual está enfocado al aporte de datos y el perfeccionamiento de la metodología ya establecida en la línea de investigación realizada por la Facultad de Ciencias Ambientales, determinada como poder calórico de los residuos sólidos urbanos, es importante tomar en cuenta recomendaciones importantes sobre el tema, donde (Ribadeneira, 2014) establece datos que, “*para la combustión completa de las muestras en la bomba calorimétrica cantidad de atmósferas de oxígeno para papel y cartón es de 25 atm, para la categoría de madera y materia orgánica con 30 atm y para la categoría de textil y residuo total es de 35 atm*”, datos que se aplicaron en el actual estudio con el fin de mejorar los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

2.1 Estado actual del conocimiento científico

La principal forma de determinar el poder calórico según estudios e investigaciones realizadas es por medio de dos métodos, que son el analítico y el experimental. El primero se caracteriza por el uso de ecuaciones fundamentadas en el principio de conservación de la energía. Una de ellas es la ecuación de Dulong en donde se expresa el poder calorífico inferior de un combustible seco, sólido o líquido, que contenga carbono, hidrógeno y azufre en su composición, por la expresión:

$$PCI = 8.060 \times C + 33.910 \times (H - O/8) + 2.222 \times S + 556 \times N_{(1)} \quad (\text{Castells, 2012})$$

Existen también reglas empíricas como la de Mendeleev que permiten la determinación del PCI a partir del análisis elemental de los componentes del carburante y de su valor de humedad, así a partir de la ecuación:

$$PCI = 0.34 \times C + 1.03 \times H - 0.11 \times (O - S) - 0.025 \times W_{(2)} \quad (\text{Márquez, 2005})$$

La determinación del poder calorífico superior másico se efectúa en el laboratorio de acuerdo a la norma ASTM D 240, que determina que el ensayo deberá efectuarse por la

combustión en atmósferas de oxígeno, de una muestra de masa conocida del carburante dentro de una bomba calorimétrica sumergida en agua, en donde la cantidad de calor liberado será un consecuencia de la elevación de la temperatura del medio y de las características del calorímetro empleado (Wauquier, 1994).

Para esto es necesario tener en cuenta que el poder calórico en peso o volumen representa la cantidad de energía liberada por unidad de peso o volumen del carburante como producto de la reacción química de combustión completa que conlleva a la formación de CO_2 y H_2O (Wauquier, 1994). Debe distinguirse el poder calorífico superior (PCS) del poder calorífico inferior de forma que:

Poder Calorífico Superior: Se define como la cantidad de calor generado por la combustión completa de la unidad de volumen o masa del combustible, cuando en los productos de la combustión se encuentra agua en estado líquido, es decir que el PCS es la variable que indica el calor generado en la combustión de un material más el calor obtenido por la condensación del agua evaporada en el proceso (Martí, 2000).

Poder Calorífico Inferior: Es la cantidad de calor generado en las mismas condiciones anteriores, pero ahora el agua formada en la reacción se encuentra en estado gaseoso; es decir que el PCI es el calor generado en la combustión de un material donde el vapor generado en el proceso queda libre (Martí, 2000).

2.2 Marco legal

La problemática de los Residuos Sólidos en el país fue abordada por primera vez a finales de los años setenta, con la corriente ambientalista precedida por las cumbres de Estocolmo y las publicaciones literarias de Carson, el escenario de la contaminación ambiental comenzó a ser discutido dentro del Ecuador. La primera normativa ambiental expedida dentro del país fue el “Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación ambiental” en la década de los 90. A partir de este primer instrumento

jurídico, se han generado una serie de acuerdos ministeriales, leyes, ordenanzas y demás cuerpos legales, creados con el objeto de controlar y mitigar los impactos que la contaminación ambiental ha venido generando. Con la Constitución Ecuatoriana aprobada en el 2008, se estableció que la población tiene el derecho de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, bajo este criterio el aspecto ambiental ha sido transcendental en la elaboración de leyes y políticas que rigen la búsqueda del denominado “sumak kawsay”. Dentro de esto, se han ido elaborando una serie de instrumentos para el control y preservación del recurso suelo, entre ellos normativa aplicable a los residuos sólidos urbanos. Como se conoce, la explosión demográfica ha hecho que exista una demanda de recursos y bienes que terminan, en el mejor de los casos, con su ciclo de vida y se convierten en residuos que en la mayoría de los casos no tienen tratamiento posterior y tornan elementos problemáticos ambientales y de sanidad. Con el afán de resolver esta problemática se han expedido algunos instrumentos que tienen por finalidad gestionarlos de forma adecuada con el objeto de que, en la medida de lo posible puedan ser reutilizados o revalorizados.

La normativa más reciente expedida para tal propósito es el Acuerdo Ministerial 061 que Reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria que dentro del Capítulo VI, dictamina las directrices para la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales. Dicha normativa determina a la Gestión de Residuos como una prioridad Nacional, incluye las directrices de Acopio y Transferencia, Aprovechamiento y Tratamiento de los residuos sólidos urbanos y atribuye las competencias de su manejo y gestión a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, mismo que concuerda con lo establecido en los artículos 240 y 315 de la Constitución de la República.

El Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, crea el PROGRAMA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS (PNGIDS), con el objetivo primordial de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, con un enfoque integral y sostenible; con la finalidad de disminuir la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos e impulsando la conservación de los ecosistemas; a través de estrategias, planes y actividades de capacitación, sensibilización y estímulo a los diferentes actores relacionados. Las metas iniciales definidas por el Programa contemplaban el que un 70%

de la población del Ecuador disponga sus desechos en un relleno sanitario técnicamente manejado hasta el año 2014 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Dentro del ámbito de sus competencias el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2010 , generó una normativa ambiental aplicable dentro del Quito Urbano, conocida como la Ordenanza Municipal 0332 . La misma expide las directrices oficiales para la gestión de residuos sólidos urbanos y tiene por objeto fijar las normas, principios y procedimientos por los cuales se rige el sistema de gestión integral actual. A partir del conocimiento detallado de esta normativa , junto con la información proporcionada por la EMGIRS-EP y las visitas en campo a las Estaciones de Transferencia Sur y Norte se ha podido verificar la situación real de los residuos en el DMQ, y analizar al tratamiento energético como una alternativa a la disposición final.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Residuo sólido urbano

Se define como residuo sólido urbano a todo desecho que resulta de las actividades cotidianas que se realizan dentro del perímetro urbano de una ciudad.

De acuerdo a la Ordenanza Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Metropolitano de Quito, los RSU pueden ser diferenciados en base a su origen en:

Residuos Domésticos: El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.

Residuos Comerciales: Aquel que es generado en establecimientos comerciales y mercantiles.

Residuos de Demolición: Son desechos sólidos producidos por la construcción de edificios, pavimentos, obras de arte de la construcción, brozas, cascote, etc., que quedan de la creación o derrumbe de una obra de ingeniería.

Residuos de barrido de calles, limpieza de jardines y parques: Son los originados por el barrido y limpieza de las calles, parques y jardines y comprende entre otras: basuras domiciliarias, institucional, industrial y comercial, arrojadas clandestinamente a la vía pública, hojas, ramas, polvo, papeles, residuos de frutas, excremento humano y de animales, vidrios, cajas pequeñas, animales muertos, cartones, plásticos, así como demás

desechos sólidos producidos en la poda de árboles y arbustos ubicados en zonas públicas o privadas y corte de césped.

Residuos Hospitalarios: Son los generados por las actividades de curaciones, intervenciones quirúrgicas, laboratorios de análisis e investigación y desechos asimilables a los domésticos que no se pueda separar de lo anterior, a estos desechos se los considera como Desechos Patógenos.

Residuos Industriales: es generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción.

Residuos Peligrosos: Es todo aquel desecho, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas, infecciosas, irritantes, de patogenicidad, carcinogénicas representan un peligro para los seres vivos, el equilibrio ecológico o el ambiente. (Ordenanza Municipal 332, 2010).

2.3.2 Poder calórico

El poder calórico representa una propiedad fundamental de las sustancias combustibles, es decir, la cantidad de calor que puede desarrollarse por la combustión de la unidad de combustible 1 kg si es sólido, o 1m³ al tratarse de un gas (Cabrerizo, Antón , & Barrio Pérez, 2009).

Se puede identificar además entre el Poder Calórico Superior y el inferior, que su principal diferencia radica en la formación de agua en el proceso de combustión. Durante este proceso, el agua producto de la combinación del hidrógeno está en estado gaseoso. El poder calorífico superior define que, después de la combustión, todos los gases son llevados a una temperatura de 0°C. Por lo tanto, todo ese vapor de agua queda condensado. El agua, al pasar de gas a líquido, se condensa, y este evento produce una cesión de calor.

Por otro lado el PCI, tiene en cuenta que el vapor de agua de la combustión no va a condensar, y por lo tanto, esa condensación no va a aportar más calor. Este factor hace que el PCS sea mayor al PCI (Zibusca, 2014).

2.3.3 Incineración

La incineración es un proceso exotérmico que involucra la descomposición de materia constituida a base de carbono en gases y cenizas, en presencia de oxígeno (Instituto Nacional de Ecología, 1999).

La primera función de la incineración consiste en transformar, por medio de una reacción química de oxidación lo más completa posible a altas temperaturas, régimen entre (850-1200°C), los desechos heterogéneos en unos residuos lo más inertes posibles, generando la mínima polución posible (Castells, Tratamiento y Valorización Energética de Residuos, 2012).

Desde el punto de vista químico, la incineración es un conjunto de reacciones de oxidación que tienen lugar, preferentemente, en fase gaseosa y por mecanismos de radicales libres, lo que conduce a la recombinación de las diferentes especies químicas presentes. Previamente, existen otros mecanismos de gasificación y vaporización de los compuestos volátiles, preferentemente orgánicos. Las reacciones de oxidación y de destrucción térmica originan la formación de moléculas sencillas como el CO₂, H₂O, NO_x, que son los componentes mayoritarios de los gases de combustión, junto con el nitrógeno atmosférico (FENER, 2010).

2.3.4 Aprovechamiento

Proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de creación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios ambientales o económicos (Ordenanza Metropolitano 0332,2007).

Capítulo III

METODOLOGÍA

3.1 Método

El presente proyecto de investigación siguió el Método Inductivo-Deductivo, es decir que a partir de muestras no sesgadas obtenidas de las Estaciones de Transferencia Porotohuayco y Santa Rosa pertenecientes al DMQ se puede inferir la cantidad de PCS y PCI que pueden aportar los RSU, textil y de composición mixta, al actuar como combustibles.

3.2 Metodología

El tipo de estudio que se emplea en este proyecto de investigación es exploratorio, de acuerdo a Sampieri, et.al ,(2006) este tipo de estudios *“sirven para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa respecto de un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados”*

A pesar de que la metodología para la cuantificación del poder calórico ha sido ensayada en múltiples ocasiones, el número de ensayos a partir de muestras tomadas de las Estaciones de Transferencia Sur y Norte del Distrito Metropolitano de Quito, específicamente, son todavía escasos. Al investigar acerca del poder calórico superior e inferior de diferentes tipos de residuos urbanos, nos permite comparar esta propiedad y establecer cuál de aquellos podría ser el más conveniente para su tratamiento térmico.

Dentro de las metodologías apropiadas se pueden diferenciar dos métodos para la determinación del poder calórico: analítico y experimental.

La determinación del poder calorífico superior másico se efectúa en el laboratorio de acuerdo a la norma ASTM D 240, que determina que el ensayo deberá efectuarse por la combustión en atmósferas de oxígeno, de una muestra de masa conocida del carburante dentro de una bomba calorimétrica sumergida en agua, en donde la cantidad de calor liberado será una consecuencia de la elevación de la temperatura del medio y de las características del calorímetro empleado (Wauquier, 1994).

Después de haber analizado la información acerca de las características de los residuos sólidos urbanos, su sistema de gestión actual dentro del Distrito Metropolitano de Quito y la potencial alternativa de un tratamiento térmico para los mismos, se decide optar el método experimental para la determinación del potencial calórico de los RSU, ya que permite determinar el valor real del PCS en cada una de las muestras ensayadas dentro de la bomba calorimétrica, y generar un conjunto de datos que constituyan un aporte experimental en el caso de implementar esta alternativa energética.

Para la ejecución de este proyecto de investigación se siguió la siguiente modalidad:

3.2.1 De Campo:

Se realizaron muestreos en las Estaciones de Transferencia Porotohuayco y Santa Rosa y se aplicaron las técnicas de muestreo basadas en el diseño del Dr. Kunitoshi Sakurai para CEPIS, descritas a continuación ([Ver Anexo A-Imagen No.4; Imagen No. 5](#)):

Para la aplicación de la técnica se utiliza la muestra de un día. Se deben colocar los residuos en una zona pavimentada o sobre un plástico grande y amontonarlos, esto tiene la finalidad de homogenizar la muestra, además se deben trozar los residuos más voluminosos hasta conseguir un tamaño que resulte manipulable: de 15 cm o menos.

El montón se divide en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogen las dos partes opuestas (lados sombreados de la figura que se muestra a continuación) para formar un nuevo montón más pequeño. La muestra menor se vuelve a mezclar y se divide en cuatro partes nuevamente, luego se escogen dos opuestas y se forma otra muestra más pequeña. Esta operación se repite hasta obtener una muestra de 6 kg de basura. ([Ver Anexo A-Imagen No.6; Imagen No. 7](#))

Como paso final de la fase de campo se separan los componentes del último montón y se clasifican en: Papel, Cartón, Madera, Materia Orgánica, Plásticos, Metales, Vidrio, Textiles y Otros (Pilas, caucho, etc). Es necesario recalcar que en el presente proyecto de fin de carrera se analizó dos tipos de residuos : mixto y textil, en los doce muestreos

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

realizados en cada una de las Estaciones de Transferencia, se obtuvieron cuarenta y ocho muestras en total, esta cifra fue definida con anterioridad por la Facultad de Ciencias Ambientales en función del número de muestras analizadas en investigaciones de años anteriores.

3.2.2 De Laboratorio:

Es preciso resaltar que todo procedimiento que involucra el uso de la bomba calorimétrica se basó en el Manual de instrucciones para el funcionamiento de la bomba calorimétrica de oxígeno No. 204 M, establecido por Parr Instrument Company.

Los instrumentos de investigación seleccionados se encuentran dentro del laboratorio, entre ellos la Bomba Calorimétrica Isotérmica de marca Parr, este equipo cumple con las especificaciones en normas internacionales: ASTM D240, D4809, D5865, D1989, D5468, E711, ISO1928, DIN 51900 y BS1016, lo que garantiza que los resultados arrojados después de su uso, son confiables.

De la misma forma la metodología de titulación que será empleada, ha sido ensayada en múltiples ocasiones, lo que indica que si el protocolo se cumple a cabalidad, los valores del porcentaje de azufre y cantidad de ácido nítrico serán representativos de la muestra, esto es importante ya que la determinación tanto de ácido nítrico como del ácido sulfúrico es necesaria dentro del proceso de cuantificación de poder calórico, ya que la formación de estos compuestos durante la combustión libera pequeñas cantidades de calor, las cuales deben ser corregidas en el resultado final con el objetivo de que este no se vea alterado (Ribadeneira, 2014).

Las muestras seguirán el diseño de muestreo propuesto por CEPIS en el 2002 en su Guía para Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios, esta toma en cuenta al azar como requisito para evitar el sesgo y asegurar la confiabilidad de los datos. Además la manipulación directa de las muestras para su posterior ensayo dentro del laboratorio puede garantizar su representatividad.

3.2.3 Procedimiento para la obtención de poder calórico

3.2.3.1 Secado de Muestras:

Este resultado no forma parte del proceso de la cuantificación del poder calórico pero es importante al momento de determinar la eficiencia de los distintos residuos como combustibles en la incineración. El porcentaje de humedad afecta directamente el

desarrollo de este tratamiento, ya que mientras mayor agua contenga el residuo menor va a ser su poder calórico. El procedimiento a aplicar es el siguiente: en un crisol tarado de 50 mL se colocan alrededor de seis gramos de muestra previamente triturada y se procede a pesarlo en la balanza analítica. Cada crisol debe ser previamente marcado, con un código ya establecido en el que se especifica la Estación de Transferencia de la que proviene la muestra, el tipo de residuo y el número de muestra analizada. Este código se mantendrá durante toda la fase de laboratorio. Una vez pesados los crisoles con la muestra húmeda, se pasa a colocarlos en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Estas condiciones fueron previamente establecidas por Dueñas (2012), con el fin de eliminar completamente el agua contenida en los residuos. Culminadas las 24 horas se pasa finalmente a pesar el crisol con la muestra seca en la balanza analítica ([Ver Anexo A-Imagen No.8](#)). Para la obtención del porcentaje de humedad se aplica la fórmula utilizada por Dueñas (2012), quien cita al Laboratorio de Suelos y Agua de Sáenz Peña (2005):

Ecuación No. 1 Porcentaje de Humedad

$$\% \text{ humedad} = \frac{a - b}{a - c} \times 100$$

En donde:

a = Peso Crisol + Muestra Húmedo (g).

b = Peso Crisol + Muestra Seco (g).

c = Peso del Crisol (g).

3.2.3.2 *Compresión de la muestra:*

Buscando la combustión de la totalidad de la muestra seca se realiza, previo al preparado de la bomba, la compresión de la misma y se la realiza utilizando la prensa Parr. La muestra comprimida, denominada pellet, debe pesar aproximadamente un gramo siendo los límites superior e inferior 0.90 g y 1.5 g respectivamente (Parr Instrument Company, s.f). En esta fase se debe tener mucho cuidado al manipular la prensa ya que es muy probable que la prensa se atranque con los residuos si no se da el uso correcto y esto puede causar un daño en la muestra ya que los pellets son muy frágiles; restando como

consecuencia los tiempos de uso del laboratorio establecidos ([Ver Anexo A-Imagen No. 9](#)).

3.2.3.3 *Combustión de Muestras:*

Una vez realizado el Pellet, se pasa al procedimiento principal que consiste en la combustión de las muestras, utilizando la bomba calorimétrica. Al realizar el proceso de combustión con muestras secas se obtiene como resultado la cuantificación del poder calórico superior. En cuanto al poder calórico inferior, este dato es calculado por medio de una fórmula establecida por el Dr. Kunitoshi Sakurai, en su texto “*Método sencillo del análisis de residuos sólidos*”

Para la preparación de la bomba, el pellet se coloca en una cápsula de acero inoxidable, enrollando con un hilo de algodón el alambre de ignición, procurando que este haga contacto con la muestra para lograr la combustión de la muestra completa. Este hilo será el encargado de conducir la energía hasta la muestra para que así esta inicie su combustión. Posteriormente la bomba es cerrada herméticamente y llenada con oxígeno hasta 35 atmósferas para textil y el residuo total.

Una vez preparada, la bomba es colocada en la cubeta, la cual ha sido previamente llenada con dos kilogramos de agua destilada. A continuación se coloca la cubeta dentro de la camisa adiabática del calorímetro y se procede a conectar la unidad de ignición y el motor de agitación a la fuente de energía. Realizadas las debidas conexiones se enciende la térmocupla y el agitador; en este momento debe ser iniciada la toma de datos de temperatura que debe ser registrada cada minuto durante los primeros 5 minutos previos al encendido de la unidad de ignición, en el quinto minuto esta es encendida y se pasa a registrar la temperatura con un lapso de 30 segundos, durante este periodo se observa un incremento acelerado de la temperatura. Las lecturas de temperatura se toman cada 30 segundos hasta que se estabilice, una vez alcanzado este punto se pasa a registrar 5 datos finales. Concluido el procesamiento de la muestra, se pasa a la liberación de los gases de combustión y al enjuagado del interior de la bomba. Este lavado se lo realiza con agua destilada utilizando 100 mL y es recolectado para su posterior análisis ([Ver Anexo A-Imagen No.10](#)).

3.2.3.4 *Determinación de Ácido Nítrico y Azufre:*

La determinación tanto de ácido nítrico como de ácido sulfúrico es necesaria dentro del proceso de cuantificación de poder calórico ya que la formación de estos compuestos durante la combustión libera pequeñas cantidades de calor, las cuales deben ser corregidas en el resultado final con el objetivo de que este no se vea alterado. Utilizando el lavado de la bomba recolectado previamente, se procede a realizar una titulación con el fin de determinar la cantidad de ácido nítrico contenida. Para este análisis se debe utilizar Anaranjado de Metilo al 3% en peso y Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) al 5% en peso. Por otro lado, para la determinación del porcentaje de azufre debe ser utilizado Cloruro de Bario (BaCl_2) al 5% en peso.

Durante la titulación se colocaran tres gotas del indicador (Anaranjado de Metilo) en el vaso de precipitación que contiene 50 ml del lavado, se pasa a colocar gota a gota Na_2CO_3 hasta observar un cambio de coloración, de un color rojizo hasta un color amarillo. El volumen de Na_2CO_3 consumido será utilizado en los posteriores cálculos.

El procedimiento para la determinación del porcentaje de azufre consiste en colocar gota a gota BaCl_2 en el lavado hasta obtener un precipitado de color blanco, que en este caso estaría conformado por Sulfato de Bario (BaSO_4). Este precipitado debe ser filtrado (utilizando un papel filtro previamente pesado), para luego ser secado por 24 horas en la estufa a una temperatura de $105\text{ }^\circ\text{C}$ ([Ver Anexo A-Imagen No. 11](#)).

Una vez que se obtiene el peso real del BaSO_4 generado, este dato es utilizado en la fórmula del cálculo del porcentaje de azufre determinada en el Manual de instrucciones para el funcionamiento para la bomba calorimétrica de oxígeno No. 204M, establecido por Parr Instrument Company.

Ecuación No. 2 Porcentaje de Azufre

$$\% S = \frac{\text{Wt. BaSO}_4 \times 13.734}{\text{Wt. Muestra}}$$

En donde:

Wt. BaSO_4 = Peso neto del sulfato de bario (g)

Wt. Muestra = Peso inicial de la muestra (g)

3.2.3.5 Constante de Equipo:

Previo al procesamiento de las muestras, es necesario el cálculo de la constante de la bomba calorimétrica, cada bomba presenta una constante específica que está determinada por las pequeñas diferencias que se puedan generar al momento de la fabricación. Esta constante es obtenida al procesar una muestra estándar de ácido benzoico de aproximadamente un gramo. Gracias a que en la Universidad Internacional SEK se cuenta con dos bombas calorimétricas este proceso fue llevado a cabo para cada una de ellas, obteniéndose así dos constantes distintas. Al conocer el poder calórico de esta muestra estándar, es posible también utilizar este mismo proceso para verificar y validar la metodología implementada. La constante, identificada con la letra W, es determinada con la siguiente fórmula, obtenida del Manual No 204M:

Ecuación No. 3 Cálculo de la Constante del Equipo

$$W = \frac{Hm + e1 + e3}{t}$$

En donde:

W = Constante (cal / °C)

H = Calor de combustión de la muestra estándar de ácido benzoico en calorías /g

m = masa de la muestra estándar (g)

e1 = corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición

t = aumento de temperatura (°C)

Ecuación No. 4 Cálculo del Aumento de Temperatura

$$t = tc - ta - r1(b - a) - r2(c - b)$$

En donde:

t = aumento de temperatura (°C)

a = tiempo del encendido (s)

b = tiempo en el que la temperatura alcanza el 60% del aumento total (s)

c = tiempo en el que la temperatura se vuelve constante (s)

t_a = temperatura al momento de encendido ($^{\circ}\text{C}$)

t_c = temperatura en el tiempo c ($^{\circ}\text{C}$)

r_1 = velocidad ($^{\circ}\text{C}/\text{minutos}$) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos antes del encendido

r_2 = velocidad ($^{\circ}\text{C}/\text{minutos}$) a la que la temperatura se elevó durante los 5 minutos después del tiempo c .

3.2.3.6 Correcciones termoquímicas:

Dentro del cálculo del calor de combustión, es necesario realizar correcciones en calorías por la formación de ácido nítrico, ácido sulfúrico y una corrección para el calor de combustión del cable de ignición. En esta investigación no se toma en cuenta la tercera corrección ya que, debido al diseño específico de la bomba, el cable de ignición no presenta señales de combustión alguna.

e_1 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido nítrico (HNO_3)

c_1 = (mililitros de solución alcalina estándar usada en la titulación)

e_2 = corrección en calorías para el calor de formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4) = (13.7) (c_2) (m)

c_2 = porcentaje de azufre en la muestra

e_3 = corrección en calorías para el calor de combustión del cable de ignición = (2.3) (c_3) cuando se utiliza cable de ignición de níquel-cromo = (2.7) (c_3) cuando se utiliza cable de ignición de hierro

c_3 = centímetros de cable de ignición consumido durante la combustión. Hay que tener en cuenta que las constantes utilizadas en el presente cálculo son valores propios del equipo, los cuales fueron proporcionados por Parr Instrument Company por medio del Manual de instrucciones para el funcionamiento de la bomba calorimétrica de oxígeno No. 204M.

3.2.3.7 Cálculo del Poder Calórico Superior (PCS):

Una vez que se han determinado todas las variables, se puede pasar al cálculo del calor de combustión o poder calórico superior, reemplazando los datos en la siguiente fórmula:

Ecuación No. 5 Cálculo del calor de combustión

$$PCS = \frac{tW - e1 - e2 - e3}{m}$$

En donde:

PCS = Calor de combustión (cal/g)

W = Constante (cal/°C)

m = masa de la muestra (g)

e1 = corrección en calorías por el calor de formación de ácido nítrico.

e2 = porcentaje de azufre en la muestra.

e3 = corrección en calorías por el calor de combustión del cable de ignición.

3.2.3.8 Cálculo del Poder Calórico Inferior (PCI):

El cálculo del poder calórico inferior se realizará por medio de una fórmula establecida por el Dr. Kunitoshi Sakurai, en su texto Método sencillo del análisis de residuos sólidos.

Ecuación No. 6 Cálculo de poder calórico inferior

$$PCI = PCS - (\%h/100) \times 600$$

En donde:

PCS = Poder calórico superior (cal/g)

PCI = Poder calórico inferior (cal/g)

%h = Humedad

3.2.4 Tratamiento Estadístico de Datos:

Los resultados de los ensayos en la bomba calorimétrica recibieron el tratamiento estadístico correspondiente por medio del programa Microsoft Excel, este programa permitirá el cálculo de las variables de interés, PCS y PCI, de los diferentes tipos de residuos. La información será recopilada en tablas y gráficas para facilitar su comprensión.

Obtenida la totalidad de los resultados se procede a presentarlos como un promedio, utilizando la fórmula de la media aritmética indicada por Murray (1997):

Ecuación No. 7 Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

En donde:

x= Promedio

X_i= Valores obtenidos.

n = Número de datos

Posteriormente, buscando determinar la variabilidad de los datos, se procedió a calcular la desviación estándar. Se utilizó la siguiente fórmula, establecida por Murray (1997):

Ecuación No. 8 Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n - 1}}$$

En donde:

σ = Desviación Estándar

x= Promedio

X_i=Valores obtenidos

n= Número de datos

3.2.5 Materiales y Equipos

3.2.5.1 Equipos:

- Balanza analítica Marca: Scientech (Modelo SA120)
- Prensa de Pellets Marca: Parr Instrument Company
- Estufa -Marca: WiseVen (Modelo : FHP-12)
- Bomba Calorimétrica Isotérmica Marca: Parr Instrument Company (Modelo 1341):
- Motor de accionamiento del agitador
- Polea del motor
- Cinturón del agitador
- Agitador con rodete
- Cubeta ovalada
- Sobrecubierta de calorímetro con tapa
- Bomba de combustión de oxígeno
- Conector para el termómetro
- Cable de ignición
- Termómetro digital
- Tanque de oxígeno
- Bomba de oxígeno

3.2.5.2 Reactivos

- Anaranjado de Metilo (3% en peso)
- Carbonato de Sodio 0,0709 N (5% en peso)
- Cloruro de Bario (5% en peso)
- Muestras Estándar (ácido benzoico)

3.2.5.3 Materiales

- Crisoles
- Pinzas
- Vidrio reloj
- Pinzas para crisol
- Recipientes plásticos
- Vasos de precipitación
- Papel filtro
- Buretas graduadas
- Pinzas para buretas
- Soporte universal

Capítulo IV

4. Resultados

4.1 Presentación de Resultados

A partir de los muestreos en campo realizados en las Estaciones de Transferencia Sur y Norte ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito y los ensayos realizados dentro de la bomba calorimétrica y de más procesos detallados en la sección *Metodología*, se pudo obtener los datos presentados a continuación, en donde se presentan el valor del PCI, PCS y Porcentaje de Humedad de cada una de las muestras.

La forma de presentación de los valores obtenidos se hizo mediante tablas comparativas y sus correspondientes gráficas con el afán de que la interpretación de los resultados sea más comprensible. Los resultados presentados compararan los resultados de los valores de PCS y PCI de los residuos mixto y textil, tomando en cuenta su lugar de procedencia, además se presentan gráficas comparativas que responden a los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación de fin de carrera. Sin embargo, es importante aclarar que los ensayos individuales a los cuales cada una de las cuarenta y ocho muestras fueron sometidas, pueden encontrarse en el [*Anexo B: Ensayos Individuales de Combustión.*](#)

4.2 Análisis de Resultados

Como se mencionó en el punto 4.1, el análisis de resultados toma en cuenta las tablas comparativas que resumen los valores de PCS y PCI obtenidos y a partir de los cuales se desarrollará su interpretación.

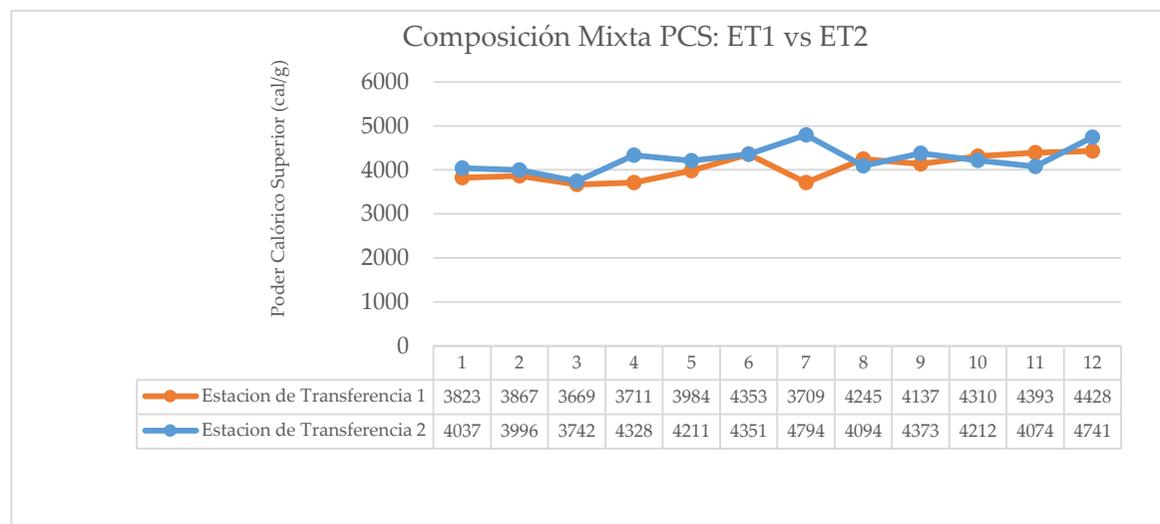
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



Tabla No 1: PCS Mixto

Gráfica No.1: Composición Mixta PCS: ET1 vs ET2

PCS-MIXTO		
No. Muestra	ET1-MIX	ET2-MIX
1	3823	4037
2	3867	3996
3	3669	3742
4	3711	4328
5	3984	4211
6	4353	4351
7	3709	4794
8	4245	4094
9	4137	4373
10	4310	4212
11	4393	4074
12	4428	4741



Elaborado por: Otero, 2015

\bar{X}	4052	4246
-----------	------	------

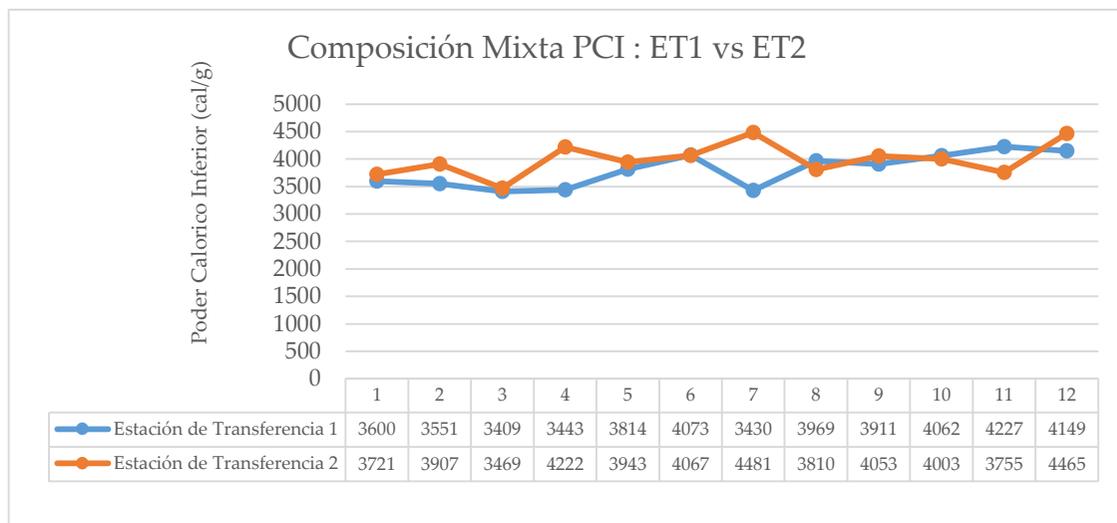
Interpretación: Al comparar los valores de PCS obtenidos del residuo mixto de acuerdo a la Estación de Transferencia a la que pertenecieron, se puede determinar que en promedio, los valores de PCS fueron mayores para la Estación de Transferencia 2, sin embargo no existió mayor diferencia entre los datos, lo que puede ser comprobado en la gráfica.

\bar{X}	4149	Kcal/kg
-----------	------	---------

Tabla No. 2: PCI Mixto

Gráfica No.2: Composición Mixta PCI: ET1 vs ET2

PCI-MIXTO		
No. Muestra	ET1-MIX	ET2-MIX
1	3600	3721
2	3551	3907
3	3409	3469
4	3443	4222
5	3814	3943
6	4073	4067
7	3430	4481
8	3969	3810
9	3911	4053
10	4062	4003
11	4227	3755
12	4149	4465



\bar{X}	3803	3991
-----------	------	------

\bar{X}	3897	Kcal/kg
-----------	------	---------

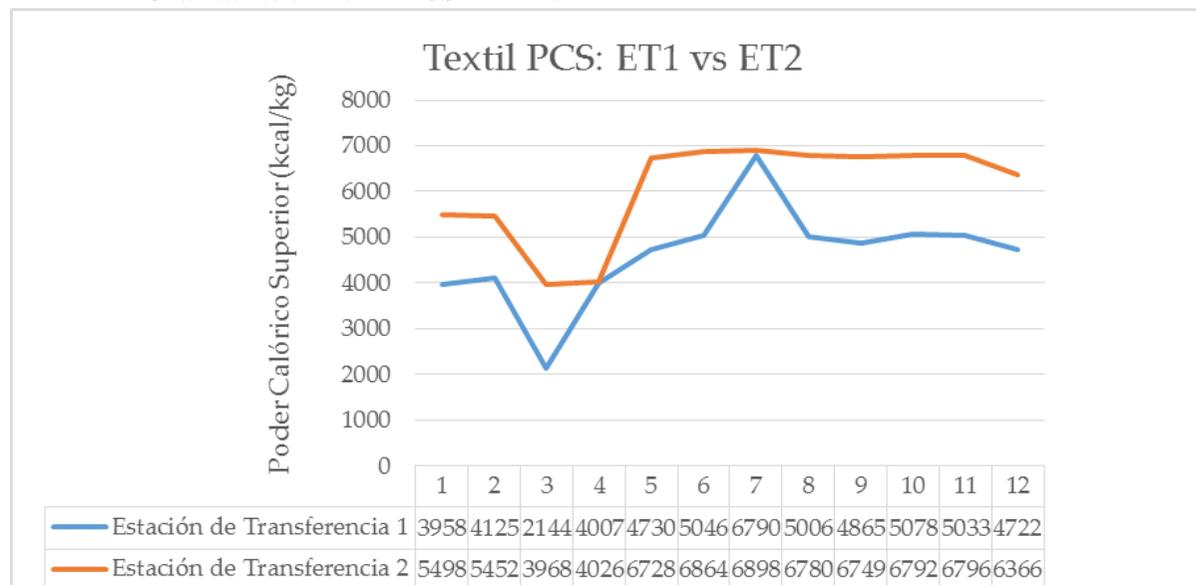
Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los valores de PCI obtenidos del residuo mixto de acuerdo a la Estación de Transferencia a la que pertenecieron se puede determinar que en promedio los valores de PCS fueron mayores para la Estación de Transferencia 2, sin embargo no existió mayor diferencia entre los datos, lo que puede ser comprobado en la gráfica, ya que el resultado del PCI depende del PCS, la gráfica en mención se asemeja a la del PCS.

Tabla No. 3: PCS Textil

PCS-TEXTIL		
No. Muestras	ET1-TEX	ET2-TEX
1	3958	5498
2	4125	5452
3	2144	3968
4	4007	4026
5	4730	6728
6	5046	6864
7	6790	6898
8	5006	6780
9	4865	6749
10	5078	6792
11	5033	6796
12	4722	6366
\bar{X}	4625	6076
\bar{X}	5351	Kcal/kg

Gráfica No.3: Textil PCS: ET1 vs ET2



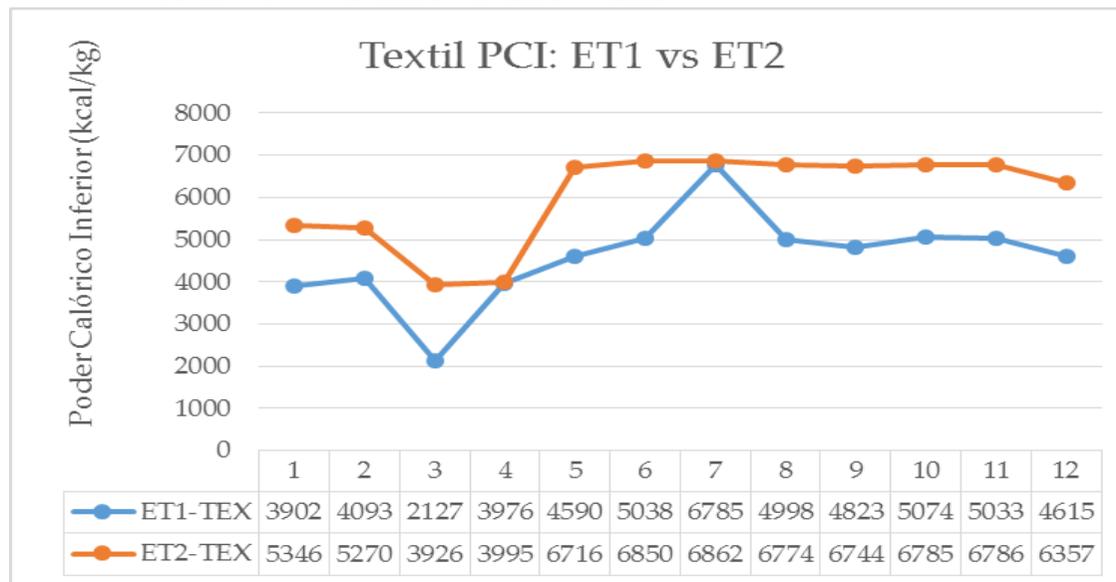
Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los valores de PCS obtenidos del residuo textil de acuerdo a la Estación de Transferencia a la que pertenecieron se puede determinar que, en promedio, los valores de PCS fueron mayores para la Estación de Transferencia 2, en este caso y como se puede visualizar en la gráfica existió una amplia diferencia, aproximadamente de 1000 calorías.

Tabla No.4 PCI Textil

PCI-TEXTIL		
No. Muestra	ET1-TEX	ET2-TEX
1	3902	5346
2	4093	5270
3	2127	3926
4	3976	3995
5	4590	6716
6	5038	6850
7	6785	6862
8	4998	6774
9	4823	6744
10	5074	6785
11	5033	6786
12	4615	6357
- X	4517	6034
- X	5311	Kcal/kg

Gráfica No.4: Textil PCI: ET1 vs ET2



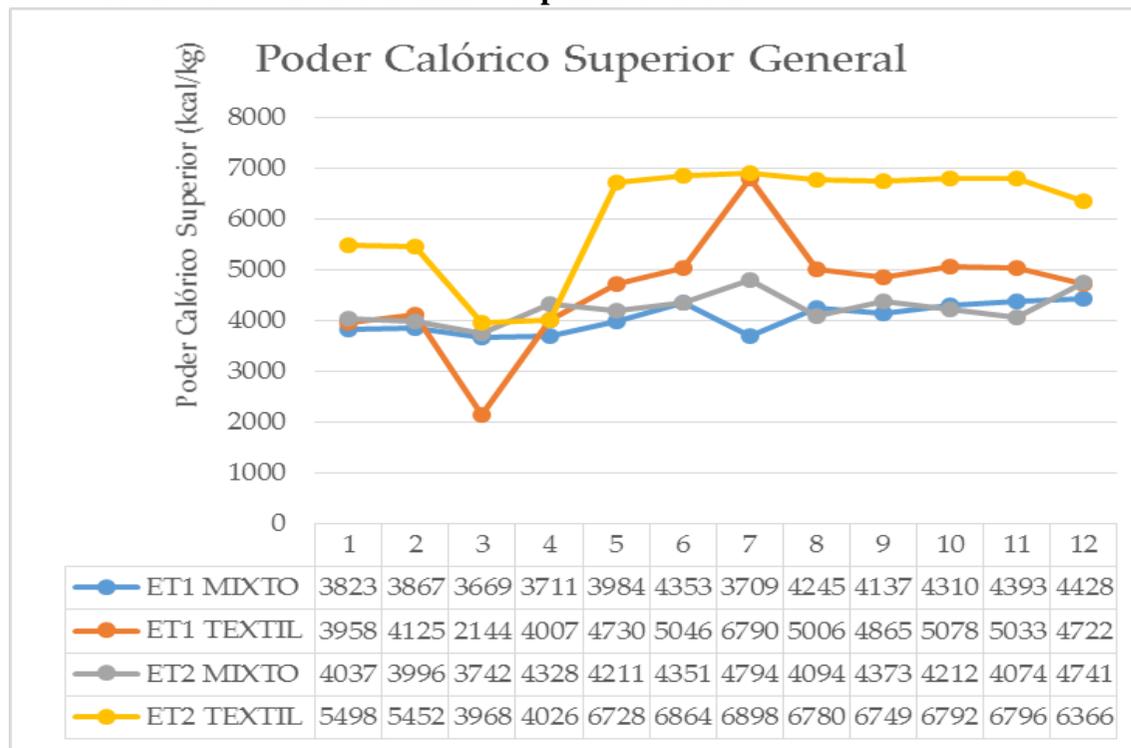
Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los valores de PCI obtenidos del residuo textil de acuerdo a la Estación de Transferencia a la que pertenecieron se puede determinar que en promedio los valores de PCI fueron mayores para la Estación de Transferencia 2, en este caso y como se puede visualizar en la gráfica existió una amplia diferencia, aproximadamente 1000 calorías. La presente gráfica se asemeja a la de PCS, ya que el valor del PCI depende de este último.

Tabla No.5: PCS General

PCS			
MIXTO		TEXTIL	
ET1-MIX	ET2-MIX	ET1-TEX	ET2-TEX
3823	4037	3958	5498
3867	3996	4125	5452
3669	3742	2144	3968
3711	4328	4007	4026
3984	4211	4730	6728
4353	4351	5046	6864
3709	4794	6790	6898
4245	4094	5006	6780
4137	4373	4865	6749
4310	4212	5078	6792
4393	4074	5033	6796
4428	4741	4722	6366
- X	4149	5351	

Gráfica No.5: Poder Calórico Superior General



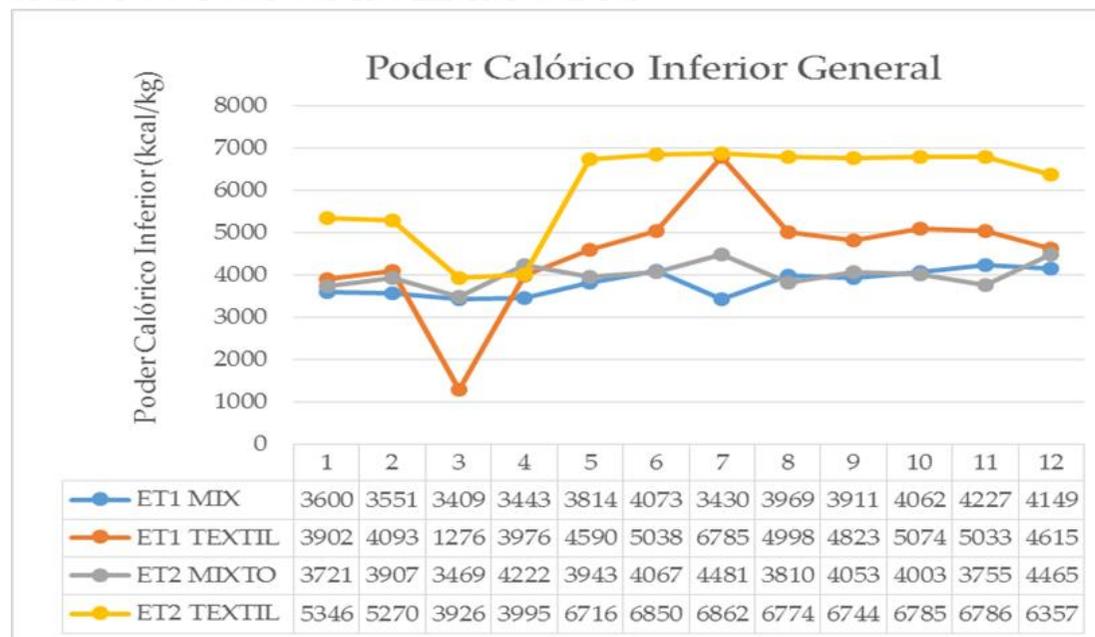
Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los valores de PCS tanto del residuo textil como del de composición mixta sin discriminación de la Estación de Transferencia a la que pertenecieron se puede determinar que en promedio los valores de PCS fueron mayores para el residuo textil.

Tabla No.6: PCI General

PCI			
MIXTO		TEXTIL	
ET1-MIX	ET2-MIX	ET1-TEX	ET2-TEX
3600	3721	3902	5346
3551	3907	4093	5270
3409	3469	2127	3926
3443	4222	3976	3995
3814	3943	4590	6716
4073	4067	5038	6850
3430	4481	6785	6862
3969	3810	4998	6774
3911	4053	4823	6744
4062	4003	5074	6785
4227	3755	5033	6786
4149	4465	4615	6357
- X	3897	5311	

Gráfica No.6: Poder Calórico Inferior General



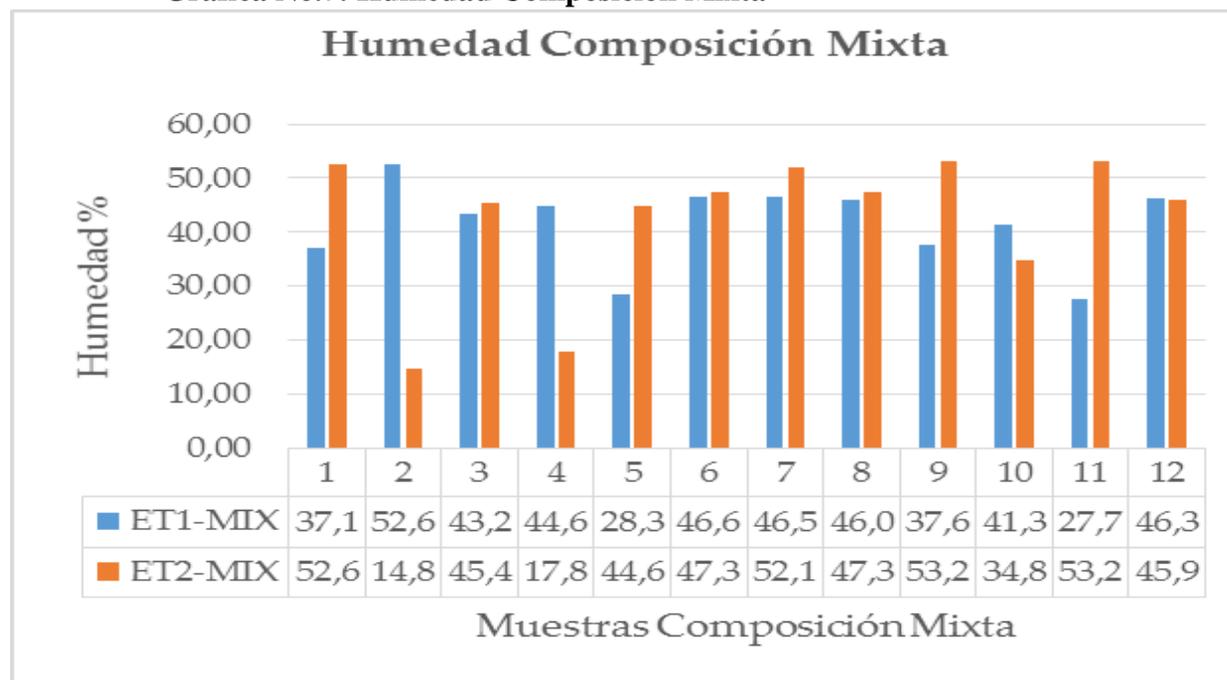
Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los valores de PCI tanto del residuo textil como del de composición mixta sin discriminación de la Estación de Transferencia a la que pertenecieron se puede determinar que en promedio los valores de PCI fueron mayores para el residuo textil, tomando en cuenta que el PCI depende del valor de PCS para su determinación.

Tabla No.7: Humedad Mixta

	Mixto-ET1	Mixto-ET2
1	37,18	52,67
2	52,67	14,81
3	43,29	45,47
4	44,68	17,82
5	28,33	44,68
6	46,67	47,34
7	46,51	52,10
8	46,00	47,34
9	37,67	53,27
10	41,35	34,81
11	27,72	53,27
12	46,39	45,97
\bar{X}	41,54	42,46
\bar{X}	42,00	%

Gráfica No.7: Humedad Composición Mixta



Elaborado por: Otero, 2015.

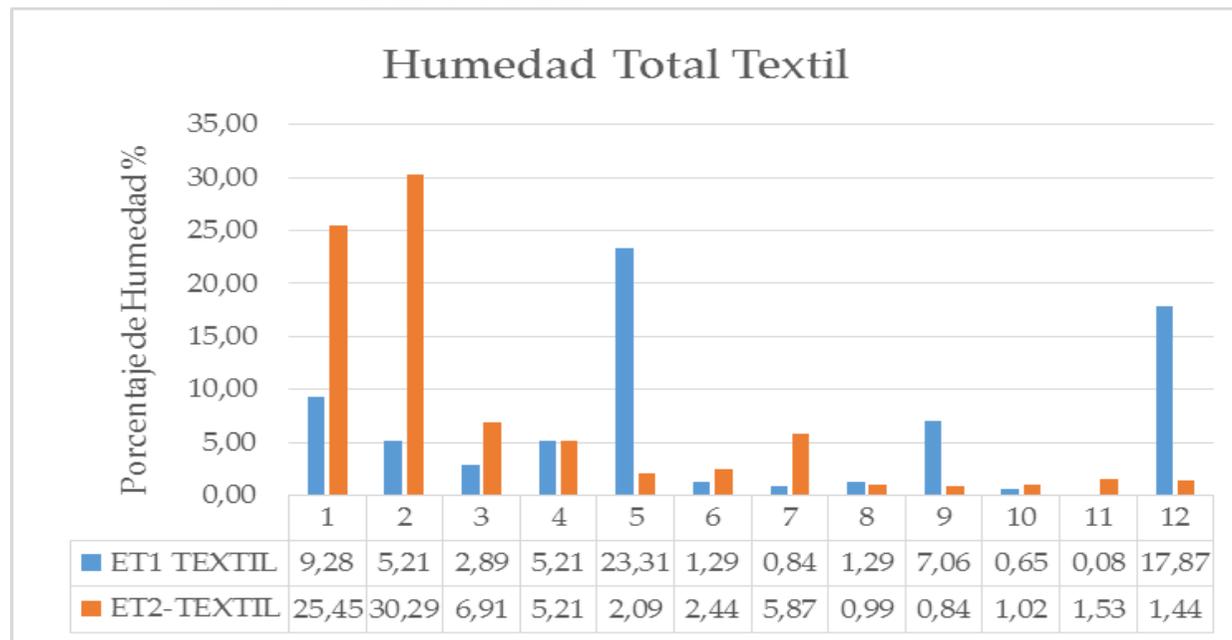
Interpretación: Los valores de humedad del residuo mixto son mayores en la Estación de Transferencia 2 por una mínima diferencia, y comparando el valor total en promedio, la humedad del residuo mixto es ampliamente superior al de textil.

superior al de textil.

Tabla No.8: Humedad Textil

	Tex-ET1	Tex-ET2
1	9,28	25,45
2	5,21	30,29
3	2,89	6,91
4	5,21	5,21
5	23,31	2,09
6	1,29	2,44
7	0,84	5,87
8	1,29	0,99
9	7,06	0,84
10	0,65	1,02
11	0,08	1,53
12	17,87	1,44
\bar{X}	6,25	7,01
\bar{X}	6,63	%

Gráfica No.8: Humedad Textil



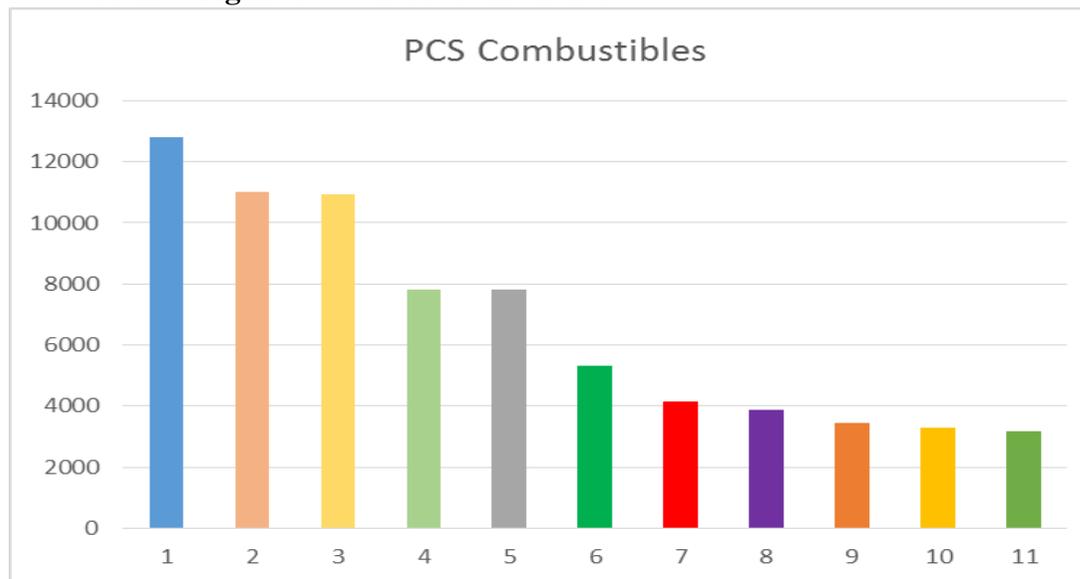
Elaborado por: Otero, 2015.

Interpretación: Los valores de humedad del residuo textil son mayores en la Estación de Transferencia 2 por alrededor de 5 puntos porcentuales de diferencia, y comparando el valor total en promedio, la humedad del residuo textil es ampliamente inferior al del residuo mixto

Tabla No.9: PCS Combustibles de uso común

Poder Calorico de sustancias combustibles			
	Combustible	PCS	Unidades
1	Gas natural	12800	Kcal/kg
2	Gasolina	11000	Kcal/kg
3	Diesel	10931	Kcal/kg
4	Carbano	7819	Kcal/kg
5	Coque	7800	Kcal/kg
6	Textil	5315	Kcal/kg
7	Mixto	4149	Kcal/kg
8	Madera	3878	Kcal/kg
9	Materia Organica	3431	Kcal/kg
10	Carton	3303	Kcal/kg
11	Papel	3171	Kcal/kg

Gráfica Figura No.9: PCS Combustibles



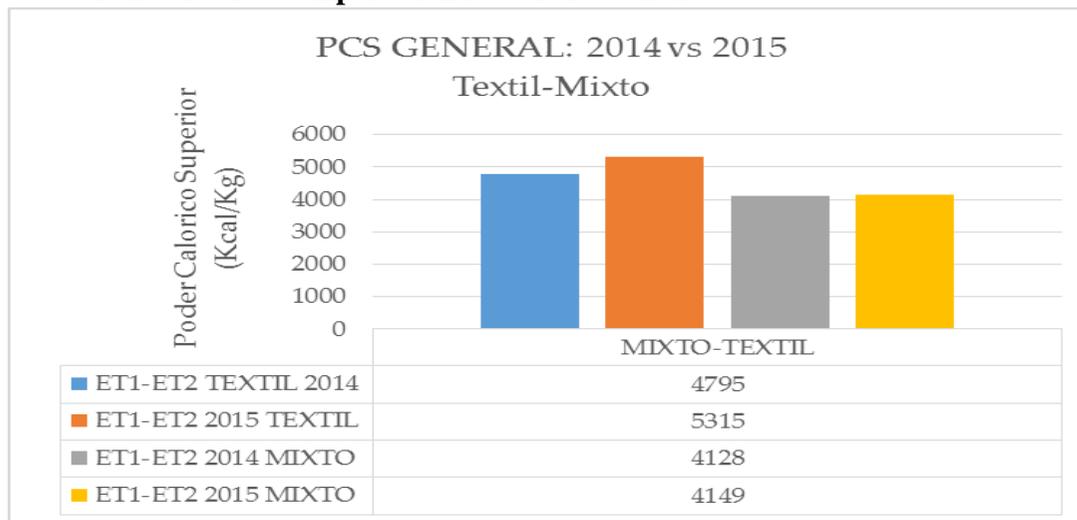
Elaborado por: Otero, 2015.

Interpretación: Al comparar los valores del Poder Calórico de algunos combustibles de uso común se puede apreciar que los valores obtenidos a partir de los ensayos de combustión y demás procesos tuvieron como resultado PCS tanto de residuo mixto como textil, bastante inferiores a los valores de los combustibles en mención, sin embargo los resultados de los residuos ensayados, tienen PCS superiores a las 3000 cal/g , valor que de acuerdo a Romero (2010), es el mínimo para considerar a un residuo incinerable.

Tabla No.10 Comparación PCS 2014 vs 2015

		TEXTIL PCS		
		ET1-ET2 2014	ET1-ET2 2015	Unidades
-	X	4795	5315	Kcal/kg
		MIXTO PCS		
		ET1-ET2 2014	ET1-ET2 2015	Unidades
-	X	4128	4149	Kcal/kg

Gráfica No.10 Comparación PCS 2014 vs 2015

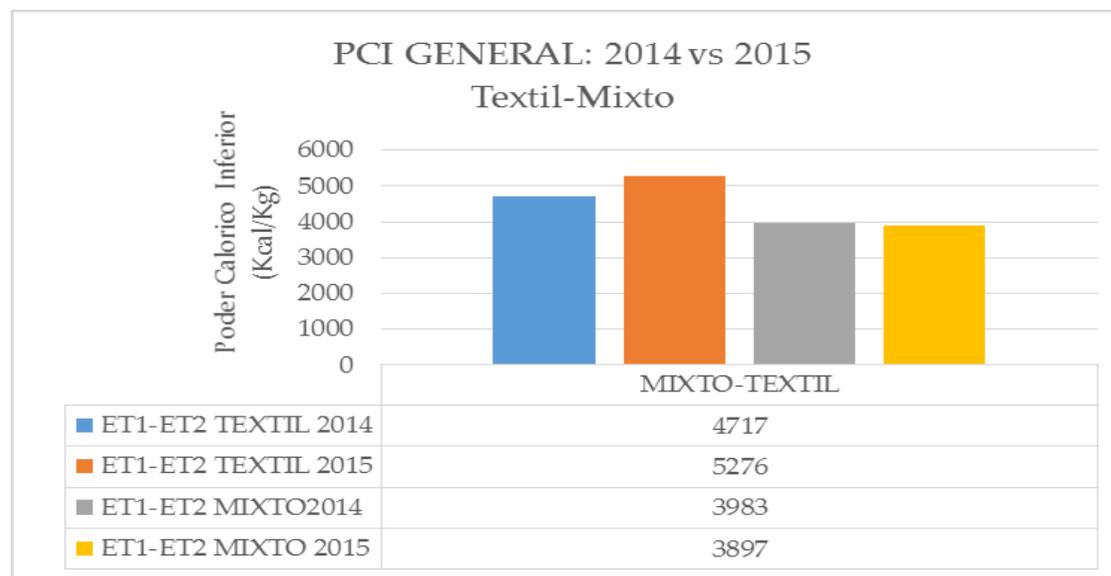


Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los resultados obtenidos en el año 2014 y 2015 de los residuos mixto y textil se puede verificar que para ambos casos el PCS es mayor en los residuos muestreados y analizados en el 2015, sin embargo la diferencia no es amplia, lo que puede revelar que es el patrón de comportamiento de los residuos.

Tabla No.11: Comparación PCI 2014 vs 2015 Gráfica No.11 Comparación PCI 2014 vs 2015

		TEXTIL PCI		
		ET1-ET2 2014	ET1-ET2 2015	Unidades
-	X	4717	5276	Kcal/kg
		MIXTO PCI		
		ET1-ET2 2014	ET1-ET2 2015	Unidades
-	X	3983	3897	Kcal/kg



Elaborado por: Otero, 2015

Interpretación: Al comparar los resultados obtenidos en el año 2014 y 2015 de los residuos mixto y textil se puede verificar que para ambos casos el PCI es mayor en los residuos muestreados y analizados en el 2015, sin embargo la diferencia no es amplia, lo que puede revelar que la metodología fue aplicada correctamente en ambos casos.

Tabla No.12: Media Aritmética, Desviación Estándar y Error Medio del PCS y PCI calculado

\bar{X}	4149	5351	\bar{X}	3897	5311
σ	305,789878	1293,40877	σ	308,6735662	832,422258
<i>Er (Textil)</i>	$(\frac{6000-5351}{5351})=12,12\%$		<i>Er (Textil)</i>	$(\frac{6000-5311}{5311})=12,97\%$	
<i>Er (Textil 2014 vs 2015)</i>	$(\frac{4795-5351}{5351})=10,4\%$		<i>Er (Textil 2014 vs 2015)</i>	$(\frac{4717-5311}{5311})=11,2\%$	
<i>Er (Mixto 2014 vs 2015)</i>	$(\frac{4128-4149}{4149})=0,5\%$		<i>Er (Mixto 2014 vs 2015)</i>	$(\frac{3983-3897}{3897})=0,22\%$	

Elaborado por: Otero, 2015.

Interpretación: El conjunto de datos de PCS y PCI obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico breve en el cual se determinó que la media aritmética del residuo textil fue la más alta. De forma adicional se calculó la desviación estándar del conjunto de datos dando por resultado que la desviación fue superior para el residuo de tipo textil. Además se determinó dos tipos de errores medios tomando en cuenta para el caso del residuo de tipo textil dos valores reales, el primero de 6000kcal/kg establecido por INSHT de España, y el segundo 4795 kcal/kg obtenido en la investigación realizada por Ribadeneira, 2014, el error relativo en ambos casos fue cercano al 12%. Para el caso del cálculo del error medio del residuo de tipo mixto, no existe un valor dentro de la literatura científica, esto debido a que es una mezcla de residuos, razón por lo cual se tomo como valor real a 4128 kcal/kg, mismo que fue calculado por Ribadeneira, 2014. Dando como resultado un error medio bajo de 0.5 %.

Capítulo V

5.1 Conclusiones

5.1.1 Se pudo cuantificar los valores de PCS y PCI de los residuos textil y de composición mixta muestreados en la estaciones de Transferencia Sur y Norte del DMQ.

5.1.2 La metodología empleada, ensayos de combustión en la bomba calorimétrica y titulación, fue la adecuada ya que nos permitió cuantificar el poder calórico superior e inferior del residuo textil y de tipo mixto.

5.1.3 Se ha generado una base de datos experimentales de PCS y PCI de los residuos textil y de composición mixta, misma que está compuesta por cuarenta y ocho datos y que sirven de aporte a la línea de investigación sobre residuos encaminada por la FCA.

5.1.4 En base a la *Tabla No.5: PCS General*, se determina que los valores de residuo textil y mixto corresponden a 5351 kcal/kg y 4149 kcal/kg respectivamente. De acuerdo a Romero (2010), el valor mínimo para que los residuos sean considerados incinerables es de 3000 cal/g, razón por la cual, los residuos en mención sí puede ubicarse dentro de esta categoría.

5.1.5 De acuerdo a la *Tabla No. 10 PCS General 2014 vs 2015*, al comparar los resultados de PCS y PCI obtenidos en los años 2014 y 2015, se puede evidenciar que si bien los valores en el año 2015 son superiores, no presentan una diferencia superior a 1000 kcal/kg. En el caso de textil la variación del PCS entre el año 2014 y 2015 es de 520 kcal/kg. y en el caso de residuo mixto es de 21 kcal /kg, lo que puede indicar que los residuos siguen un patrón de comportamiento y además la metodología ha sido aplicada a cabalidad.

5.1.6 Como se pueden observar en las *Gráficas No. 5 y 6* existen un valor de PCS correspondiente a textil que hace que la curva descienda, este dato es el valor más pequeño registrado y corresponde a una muestra en la cual el tipo de textil no ha sido identificado, razón por la cual se ha recomendado analizar el PCS y PCI de acuerdo al tipo de textil analizado.

5.1.7 En relación a la humedad de acuerdo a las *Tablas No. 7 y 8* se puede determinar que la humedad promedio general del residuo mixto es del 42 % y del residuo textil es

del 6,63%, esta diferencia marcada también se presenta en los valores de PCS de los residuos en mención, en donde para el caso del residuo mixto corresponde a 4149 kcal/kg y para el caso del residuo textil es de 5351 kcal/kg. Es decir que la relación humedad-PCS es inversamente proporcional.

5.1.8 De acuerdo a la *Tabla No. 12*, el error medio del residuo textil fue de alrededor del 12%, este fue calculado a partir de dos valores reales: el poder calórico de poliéster, uno de los textiles más usados en el Ecuador, citado en fuentes oficiales y el determinado en la investigación que precedió al presente proyecto de fin de carrera. Para el caso del residuo mixto no fue posible tomar como valor real a algún valor citado en alguna fuente oficial, por lo cual el valor real fue tomado de las investigaciones realizadas por Ribadeneira, 2014, resultando en un error medio de 0.5 %. Ambos errores al no ser tan altos pueden indicar que la metodología para la cuantificación del poder calórico es efectiva.

5.1.9 De acuerdo a la *Gráfica No.9: PCS Sustancias Combustibles*, se determina que los valores de los PCS de combustibles son hasta 2,5 veces superiores a los que presentan el residuo mixto y textil, sin embargo es necesario destacar que estos sobrepasan el valor mínimo de 3000 kcal/kg, por lo tanto son considerados incinerables.

5.1.10 Es importante analizar los valores de PCI para incorporar un proceso de aprovechamiento energético ya que como está determinado en el Manual de Uso de la Bomba Calorimétrica, este es considerado el Poder Calórico Neto, y es el valor que utilizan la mayoría de empresas en sus procesos de incineración controlada.

5.1.11 Es importante destacar que a pesar de que los valores promedios de poder calórico de los residuos textil y de tipo mixto están por encima de las 3000 kcal/kg, por lo cual se consideran incinerables, la incineración de residuos sólidos urbanos debe ser considerada como uno de los últimos recursos y priorizar en acciones como reducción en el consumo, clasificación en la fuente y acciones de reutilización de recursos como lo es el reciclaje y el compostaje.

5.2 Recomendaciones

5.2.1 Es recomendable aumentar el número de datos de temperatura tomados durante el ensayo de combustión a aproximadamente treinta, esto con la finalidad de que se cumpla con lo especificado en el manual, en el que se indica que la variable r_2 determina la variación de la temperatura cinco minutos después del punto c , momento en el que la temperatura se vuelve constante.

5.2.2 Para el caso de futuras investigaciones resultaría interesante evaluar el PC de los residuos mixtos conociendo su composición porcentual, como se conoce no existe una clasificación en la fuente de los residuos, por lo cual analizar diferentes tipos de composiciones permitirá determinar la mezcla más óptima para ser incinerada.

5.2.3 Se considera pertinente evaluar si las condiciones climáticas influyen en los resultados de PCS obtenidos, sabiendo que la humedad y el poder calórico de los residuos tienen una relación inversamente proporcional, resultaría interesante determinar si la época del año (invierno o verano), modifica los valores de PCS y PCI.

5.2.4 Es necesario que se continúe comparando los valores obtenidos en las investigaciones realizadas en proyectos de fin carrera anteriores y actuales, esto con el afán de que se vaya analizando si es que los valores siguen un determinado patrón de comportamiento y si los protocolos y metodología están siendo correctamente aplicados.

5.2.5 Es necesario que una vez que los residuos sean transportados al laboratorio los ensayos de combustión se realicen de la forma más rápida posible, caso contrario las características de las muestras pueden verse modificadas con el tiempo.

5.2.6 Es necesario tomar en cuenta que una vez obtenido el condensado resultante del proceso de combustión y en el caso de que este no pueda ser titulado el mismo día de su obtención, este deberá almacenarse en frascos a temperatura ambiente y por un tiempo máximo de tres días para mantener sus características originales.

5.2.7 Es necesario tomar en cuenta que una vez que las muestras han sido sometidas al proceso de secado y si es que estas no van a ser utilizadas inmediatamente, es conveniente ubicarlas dentro del desecador, ya que este equipo no permite que las mismas adquieran la humedad presente en el ambiente.

5.2.8 De igual forma en el momento de realizar la filtración del precipitado obtenido en el proceso de titulación, es necesario que el papel filtro sea pesado de forma inmediata, caso contrario su peso en presencia de la temperatura ambiente puede ser alterado.

5.2.9 En la fase de trituración es necesario reducir el tamaño de los residuos hasta una dimensión aproximada de 1 cm para facilitar su compactación en el proceso de Peletización.

5.2.10 Es necesario que en el momento de suministrar oxígeno en la cámara de combustión, se abra la válvula de forma lenta y con mucho cuidado hasta obtener la presión necesaria, ya que la muestra ubicada dentro de la mencionada cámara podría moverse o salirse del crisol y por la tanto la combustión sería insatisfactoria.

5.2.11 Es necesario tener cuidado con el termómetro digital, ya que el sistema de cableado que lo compone es muy sensible y ha sido sometido a una reparación anterior.

5.2.12 Para el funcionamiento de la bomba calorimétrica se emplea aproximadamente dos litros de agua por cada uno de los ensayo de combustión realizados, por lo tanto se considera pertinente que se encuentren alternativas para reutilizar este recurso, (e.g. almacenarla en contenedores para su uso posterior) de forma que no afecte a las características operacionales de la bomba y no exista un desperdicio permanente de este recurso vital.

5.2.13 La técnica de muestreo aplicada considera los criterios de aleatoriedad y representatividad razón por la cual se recomienda continuar con la aplicación de la misma.

5.2.14 Es indispensable el uso de Equipo de Protección Personal tanto en la fase de laboratorio como en la de campo ya que el contacto permanente con residuos representa un riesgo permanente en especial en el caso de enfermedades del tracto respiratorio y piel por lo que el uso de mascarilla y guantes se torna indispensable.

5.2.15 Es aconsejable nutrir a la base de datos de PCS y PCI generada dentro de la Facultad de Ciencias Ambientales ya que a partir del aumento de número de muestras aumentaría la confiabilidad de los análisis encaminados a evaluar a la incineración como potencial tratamiento térmico de los residuos.

5.2.16 Es necesario realizar el mantenimiento de la bomba de acuerdo a lo descrito en el manual de funcionamiento, cuidando de manera especial al cubeto de acero inoxidable y

a los cables que salen de la unidad de ignición ya que son componentes sensibles que pueden alterar los resultados obtenidos de los ensayos de combustión.

5.2.17 Es necesario que antes de iniciar los trabajos de combustión se determine la constante de la bomba a partir del ensayo con ácido benzoico. Este proceso conocido como estandarización, permite que los resultados arrojados por el equipo sean confiables; si bien dentro del manual de uso se recomienda practicar al menos cuatro pruebas de estandarización antes de comenzar los ensayos, es recomendable realizar pruebas de estandarización durante el desarrollo de la investigación con el objeto de verificar el correcto funcionamiento del calorímetro.

6. MATERIALES DE REFERENCIA (BIBLIOGRAFÍA)

Orellana, D. (2012). *Análisis de residuos sólidos urbanos del DMQ para cuantificación de carbono y metano como gas de efecto invernadero*. Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito.

Empresa Metropolitana de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. (2013). *Estaciones de Transferencia*. Recuperado el 18 de enero del 2015 desde <http://www.emgirs.gob.ec/index.php/operaciones/estacion-de-transferencia-norte>

Ribadeneira, J. (2014). *Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2013-2014*. Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2010). *Guía de la Valorización Energética de Residuos*. Recuperado el 18 de enero del 2015 desde <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-de-valorizacion-energetica-de-residuos-fenercom-2010.pdf>

Castells, X. E. (2012). Tratamiento y valoración energética de residuos . En X. E. Castells, *Tratamiento y valoración energética de residuos* (pág. 110). Madrid: Diaz de Santos.

Ecología, Instituto Nacional de. (1999). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. Mexico D.F: Semarnap.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2004). Poder Calórico(Q) de diversas sustancias . Recuperado el 23 de julio de 2015 desde

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/TextosLegales/RD/2004/2267_04/Ficheros/tabla1_4.pdf

Zibusca. (10 de Enero de 2014). *Zibusca*. Obtenido de Zibusca:

<http://www.zibusca.com/noticia/diferencia-entre-poder-calorifico-superior--poder-calorifico-inferior>

Cabrerizo, D. A., Antón, J. L., & Barrio Pérez, J. (2009). Física y Química. En D. M. Cabrerizo, J. L. Antón, & J. Barrio Pérez, *Física y Química* (pág. 160). México D.F: Editex.

Martí, B. V. (2000). Aprovechamiento de los Recursos Forestales para uso Energético. En B. V. Martí, *Aprovechamiento de los Recursos Forestales para uso Energético* (pág. 37). Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia .

Wauquier, J. (1994). El refinado del petróleo: Petróleo crudo, Productos petrolíferos , Esquemas de fabricación . En J. Wauquier, *El refinado del petróleo: Petróleo crudo, Productos petrolíferos , Esquemas de fabricación* (págs. 178-180). Paris: Editions Technip.

Márquez, M. (2005). Combustión y Quemadores . En M. Márquez, *Combustión y Quemadores* (págs. 3-20). Barcelona: Marcombo S.A.

Madrid, F. d. (2010). *Guía de Valorización de Energía*. Madrid .

Romero, A. (2010). Incineración de los Residuos. (22). 175-187. Madrid.

Kates, E.J., Luck, W. (2003). Motores Diesel y de Gas de alta compresión. Barcelona: Editorial Reverté S.A.

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS

[Imagen No.1 Estación de Transferencia Santa Rosa](#)



Fuente: Google Maps ,2015

[Imagen No 2: Ubicación Estación de Transferencia Porotohuayco](#)



Fuente: Google Maps, 2015

[Imagen No 3: Ubicación Relleno Sanitario Inga](#)



Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

Fuente: Google maps, 2015

[Imagen No 4: Muestras en Estación de Transferencia Sur](#)



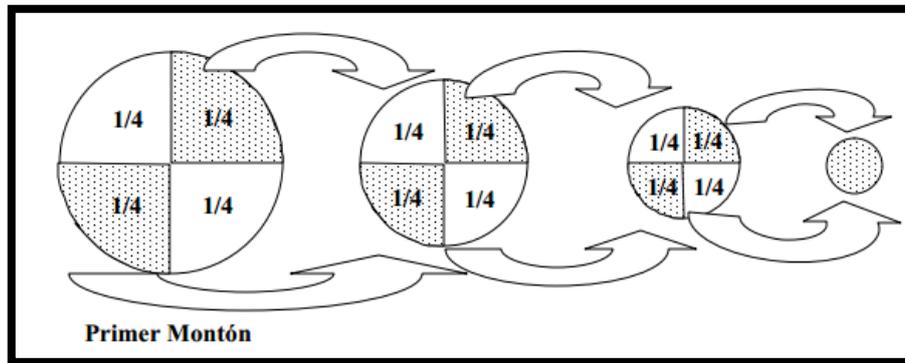
Elaborado por: Otero, 2015

[Imagen No 5: Muestras en Estación de Transferencia Norte](#)



Elaborado por: Otero, 2015

[Imagen No 6: Método del Cuarteo](#)



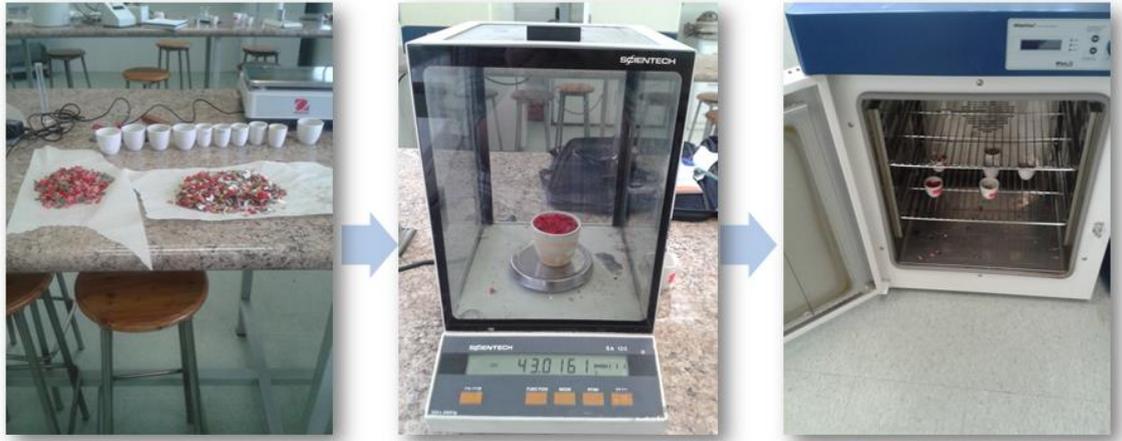
Fuente: CEPIS, 2002

[Imagen No. 7: Aplicación del Método de Cuarteo](#)



Elaborado por: Otero, 2015

Imagen No. 8: Proceso de Secado de Muestras



Elaborado por: Otero, 2015

Imagen No. 9: Peletización de Muestras



Elaborado por: Otero, 2015

Imagen No. 10: Proceso de Combustión



Elaborado por: Otero, 2015

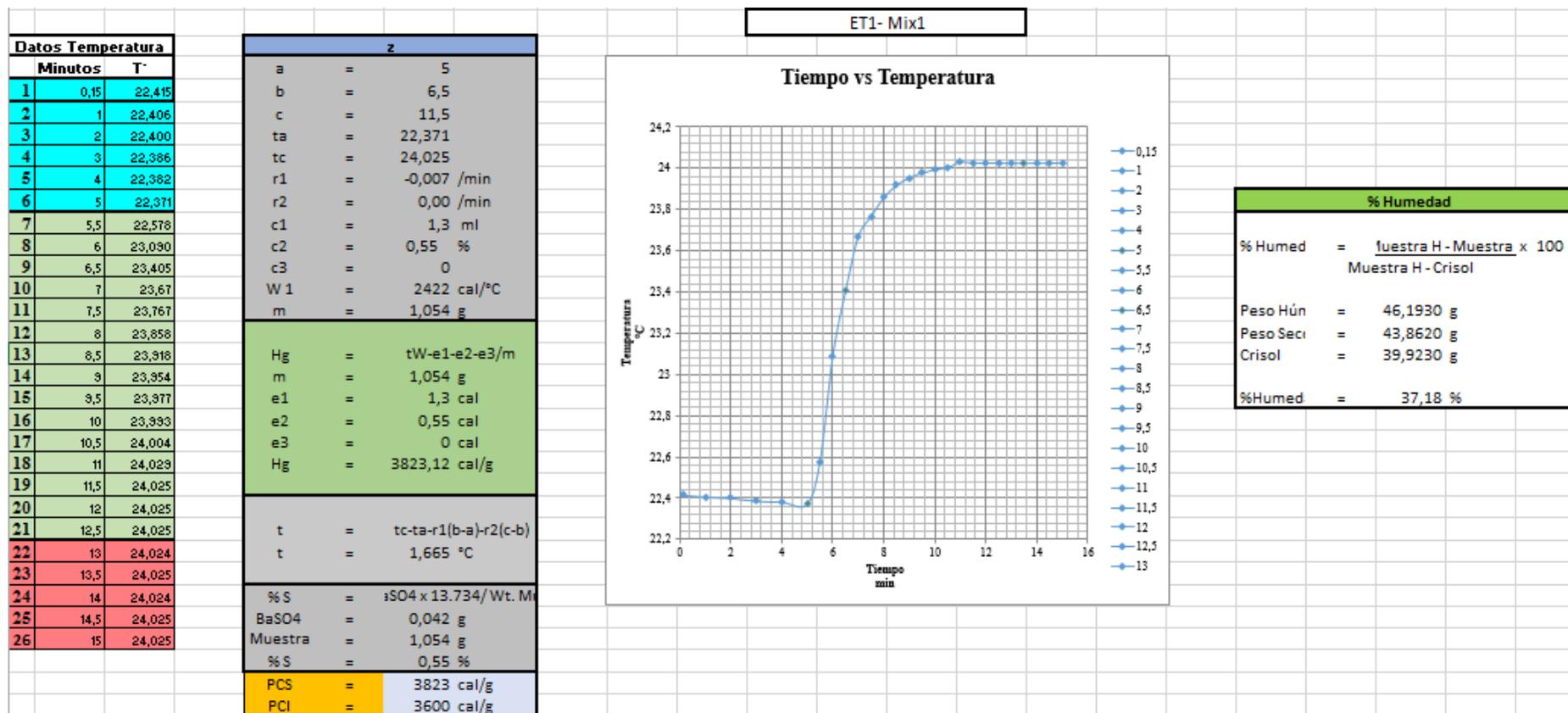
Imagen No. 11: Proceso de Titulación



Elaborado por: Otero, 2015

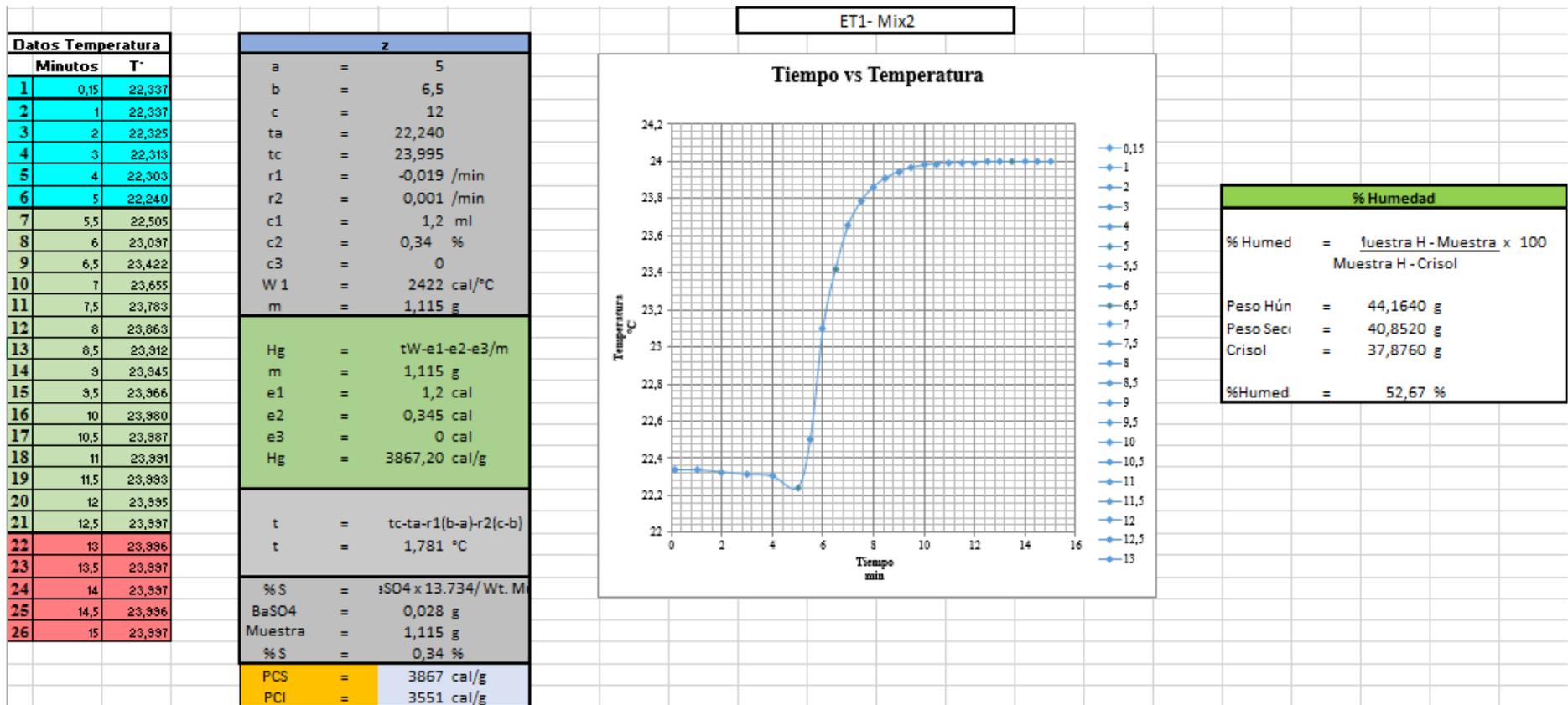
ANEXO B: ENSAYOS INDIVIDUALES DE COMBUSTIÓN Y PRECIPITACIÓN

Estación de Transferencia 1: Santa Rosa

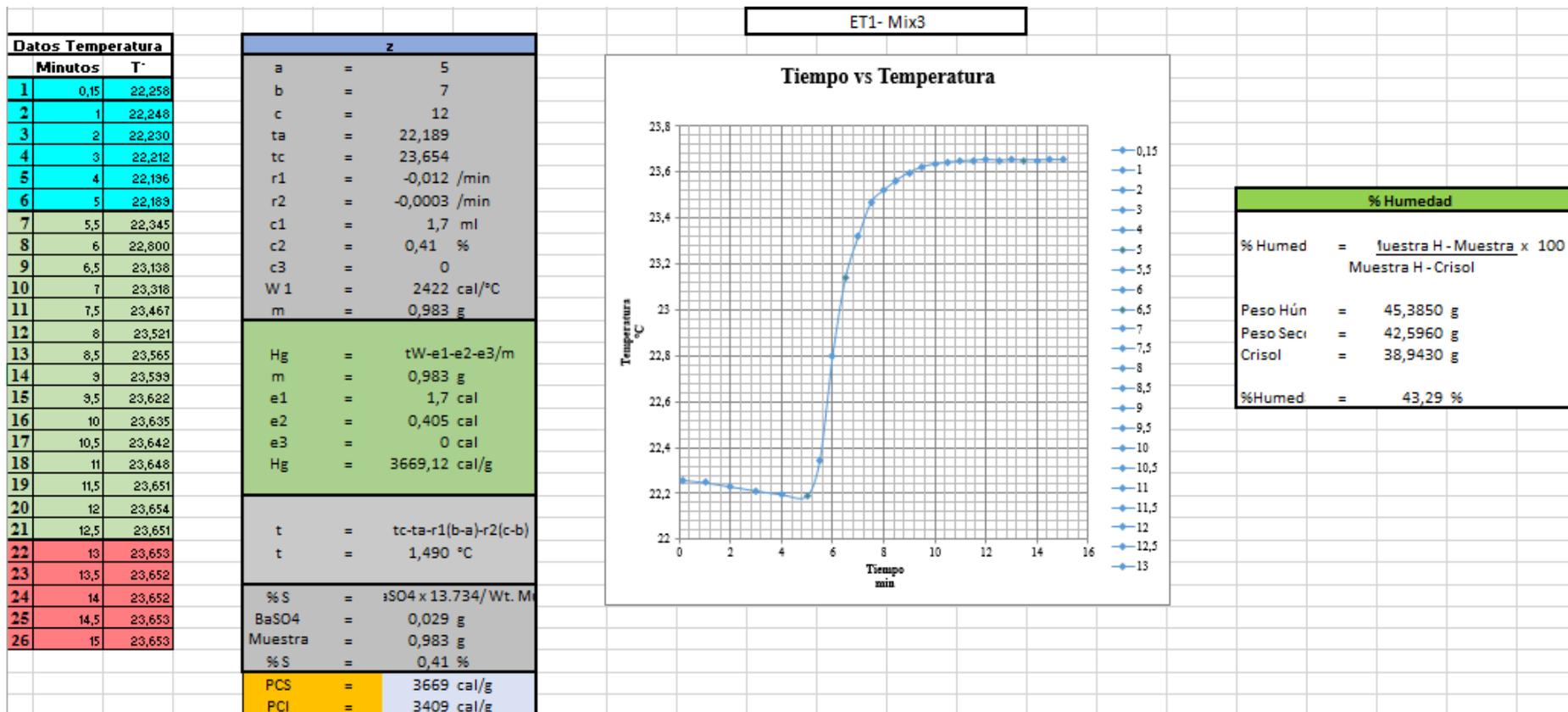


Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

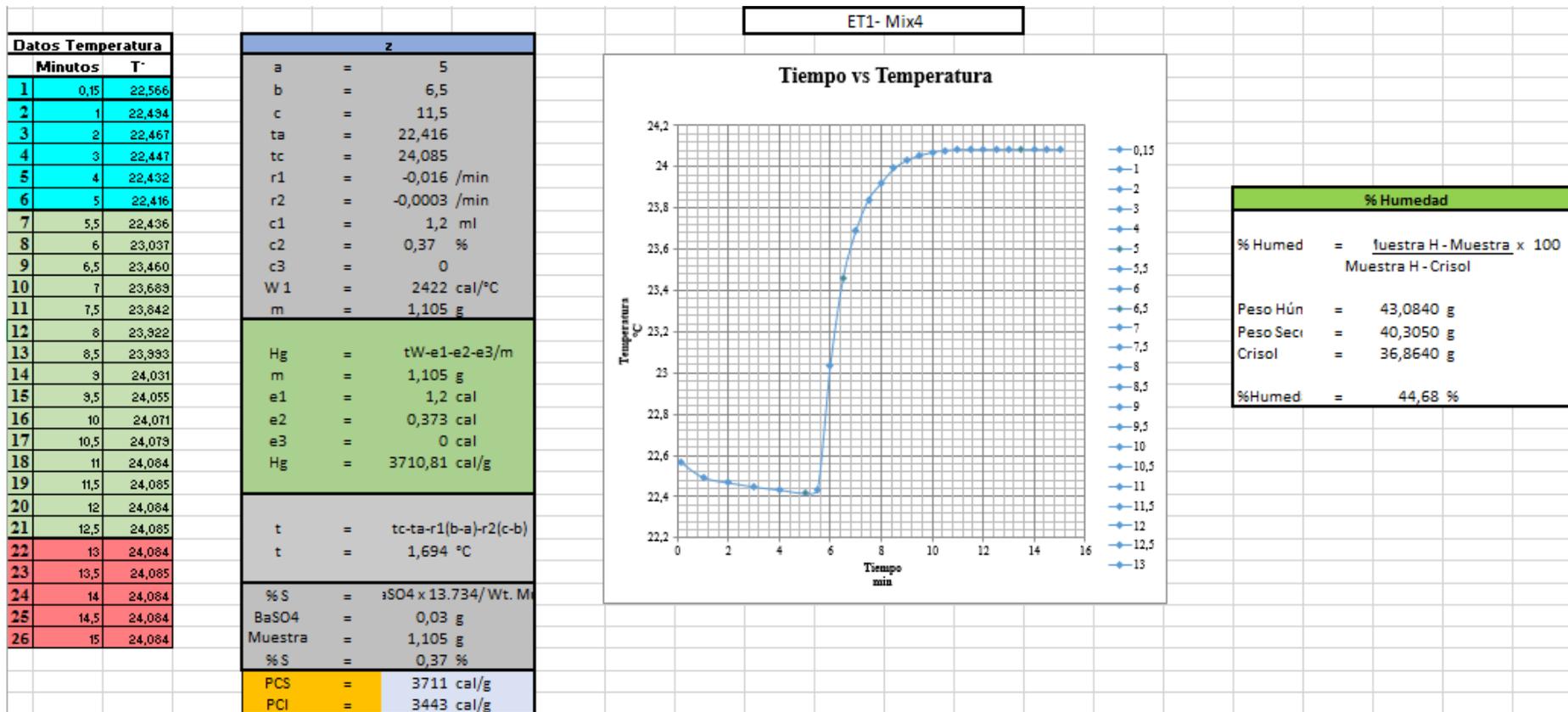


Elaborado por: Otero, 2015



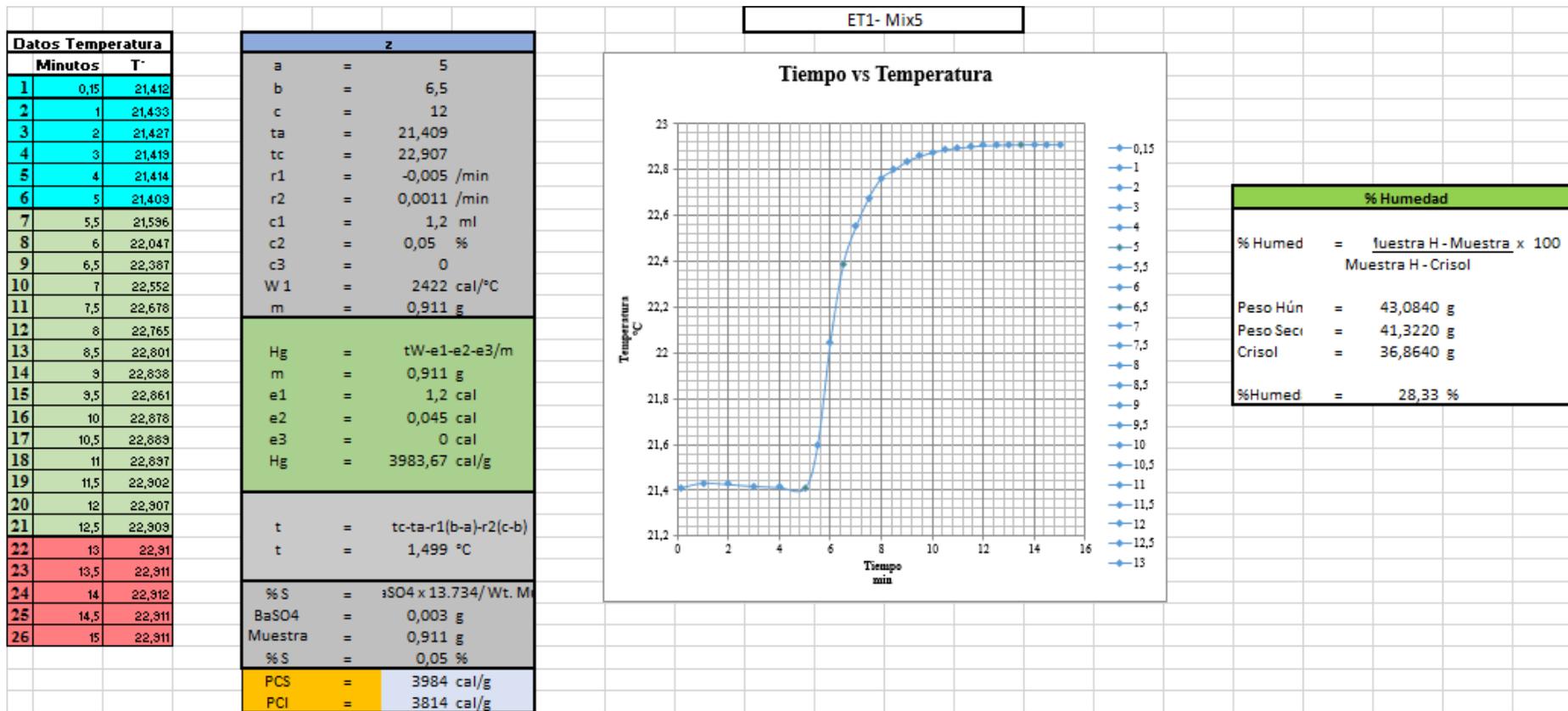
Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

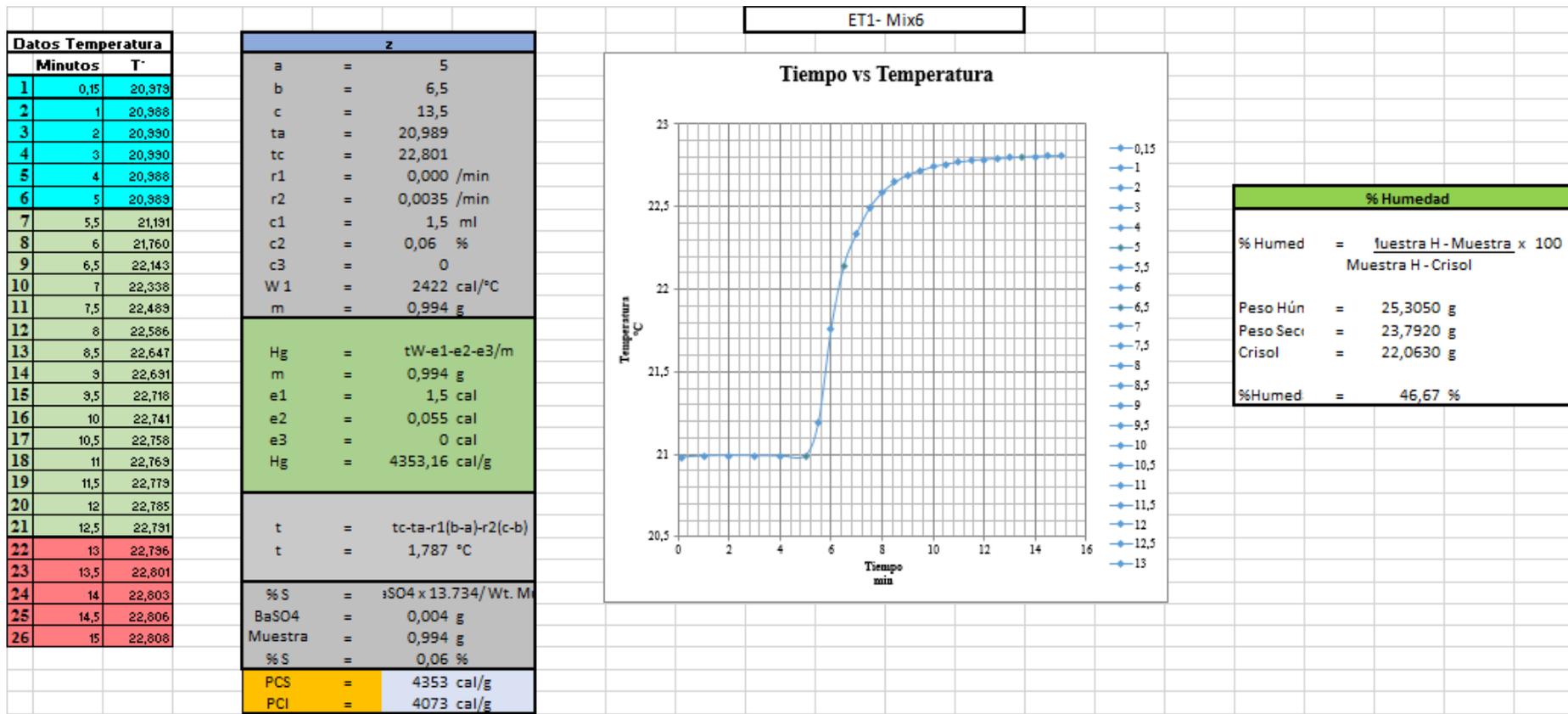


Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

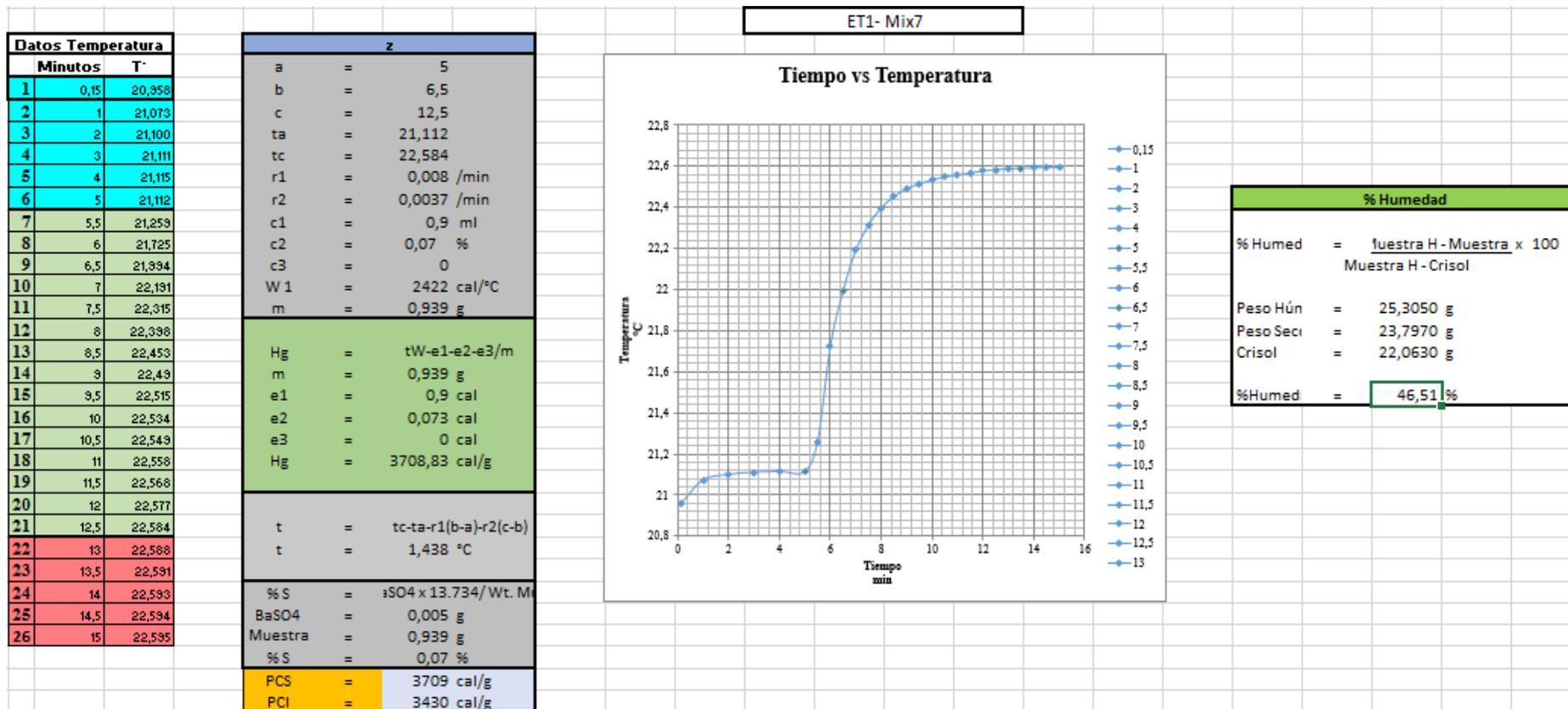


Elaborado por: Otero, 2015

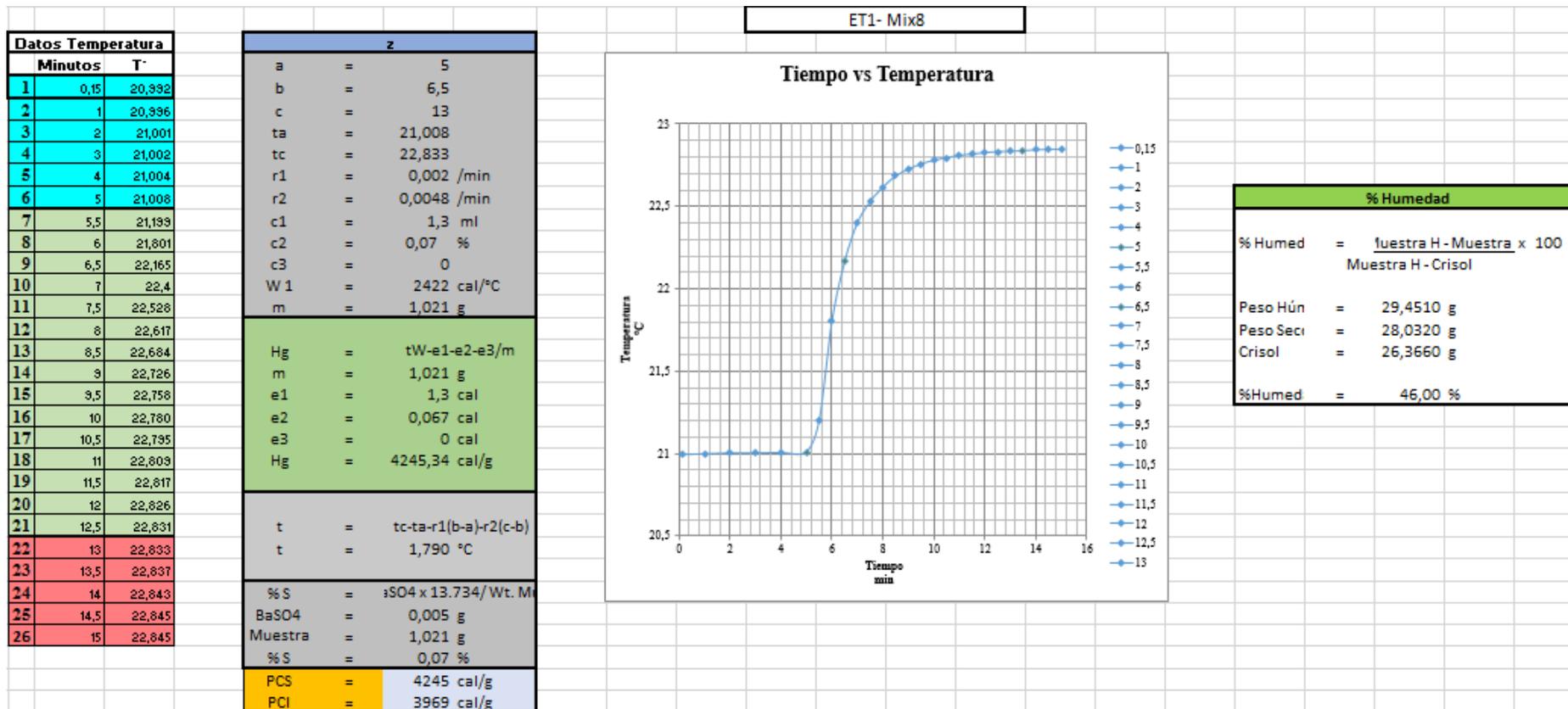


Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

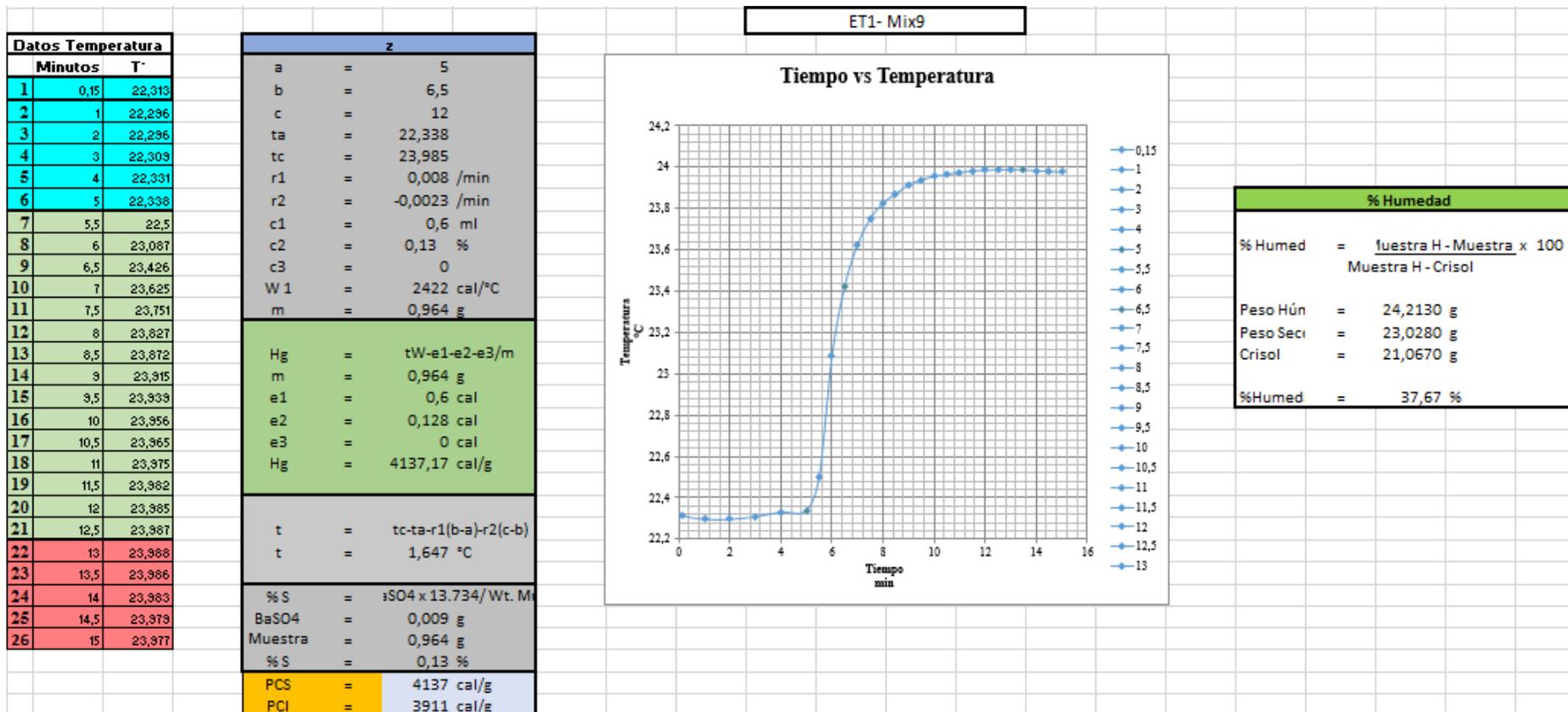


Elaborado por: Otero, 2015

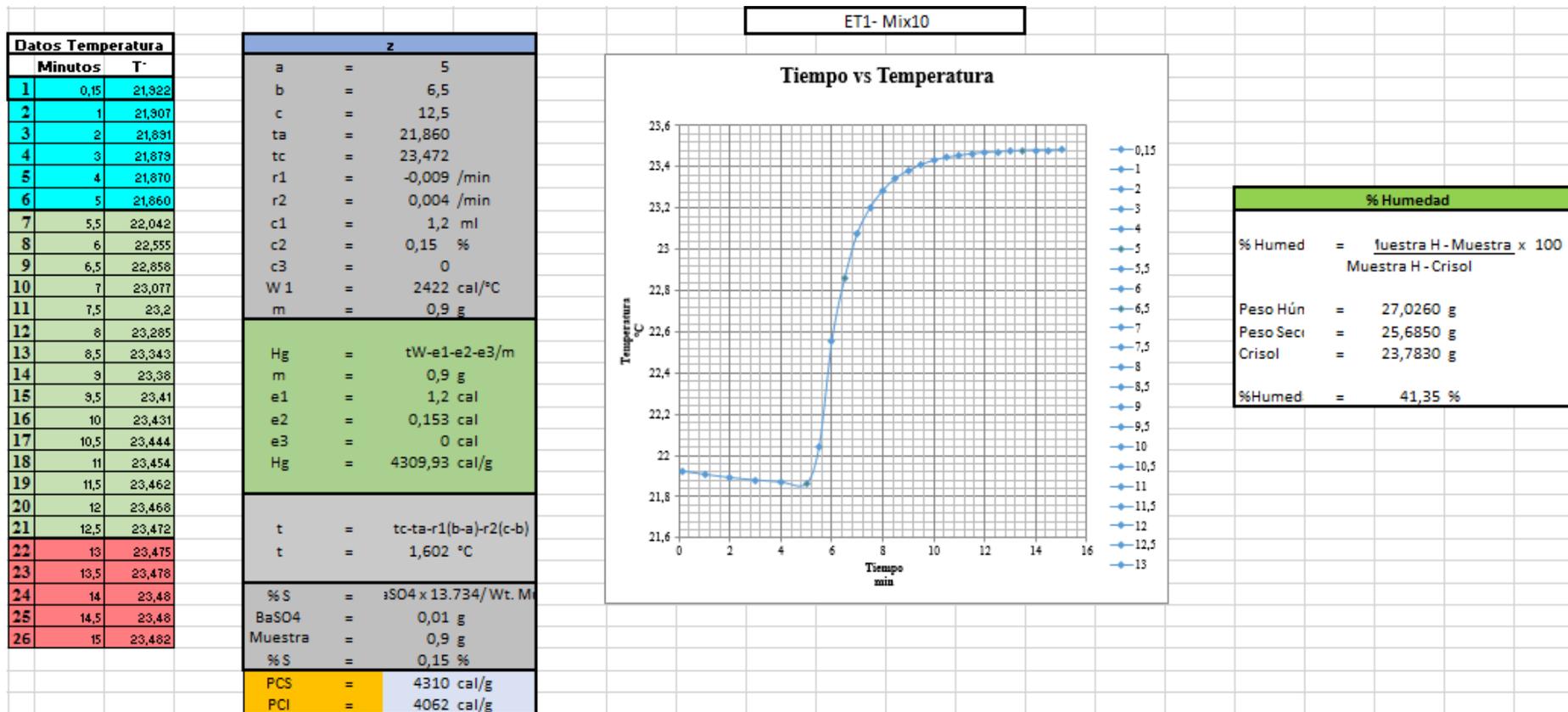


Elaborado por: Otero, 2015

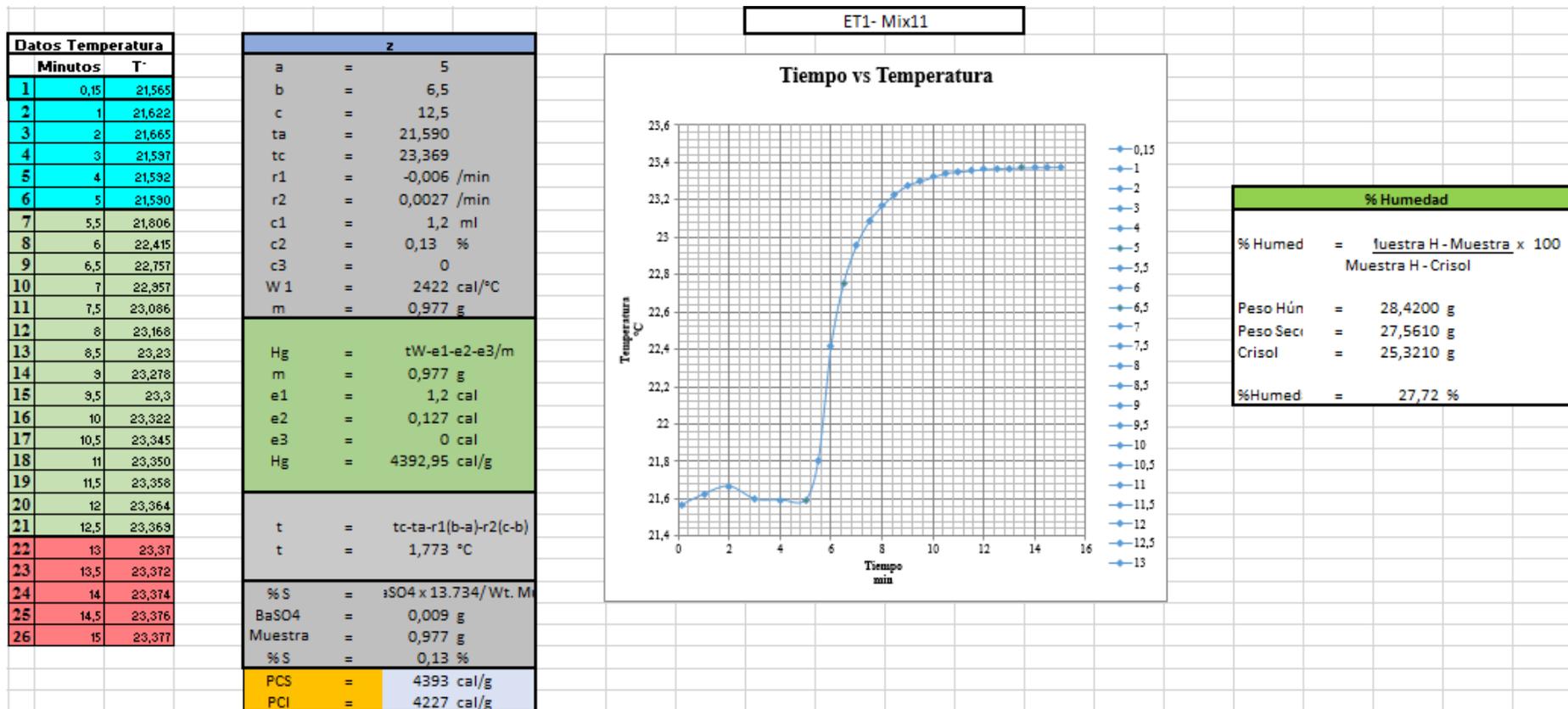
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



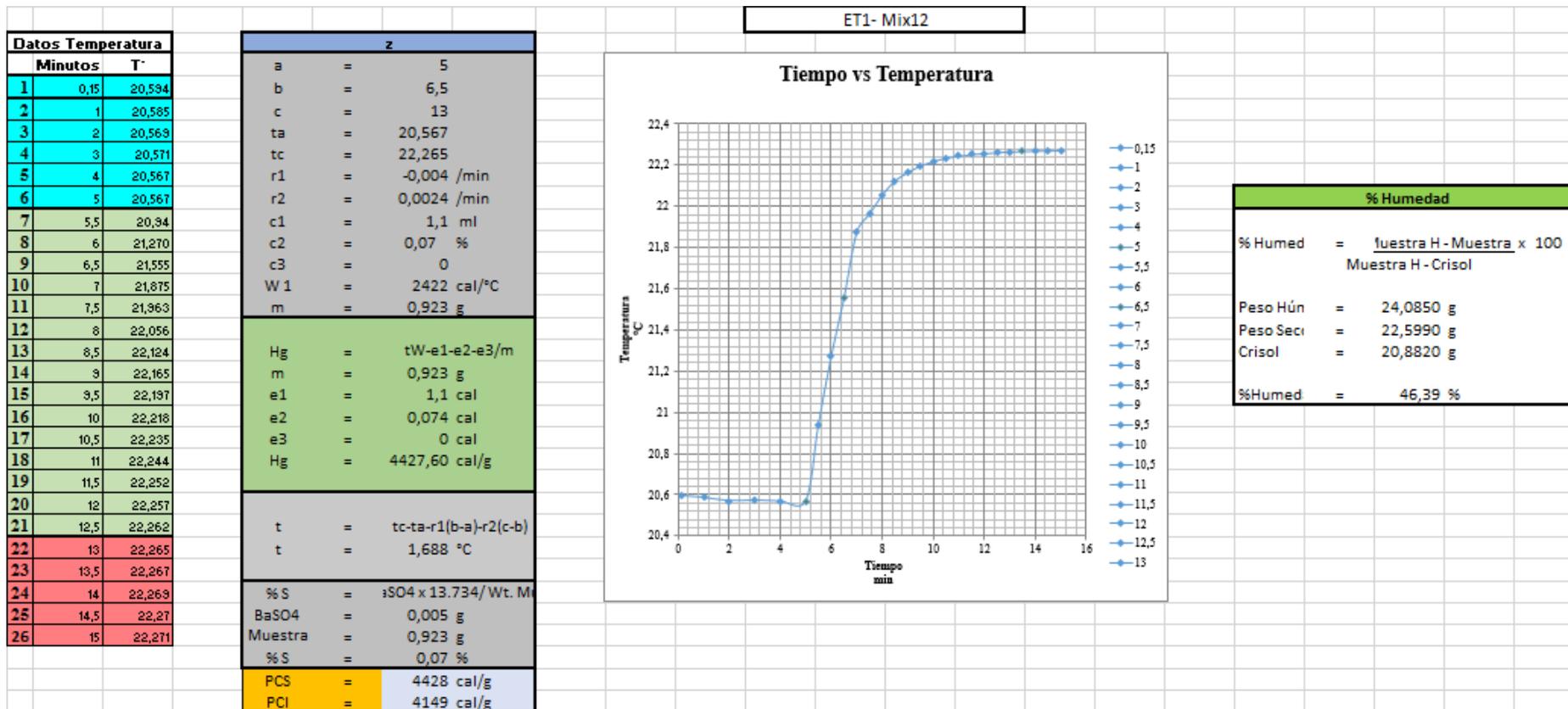
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

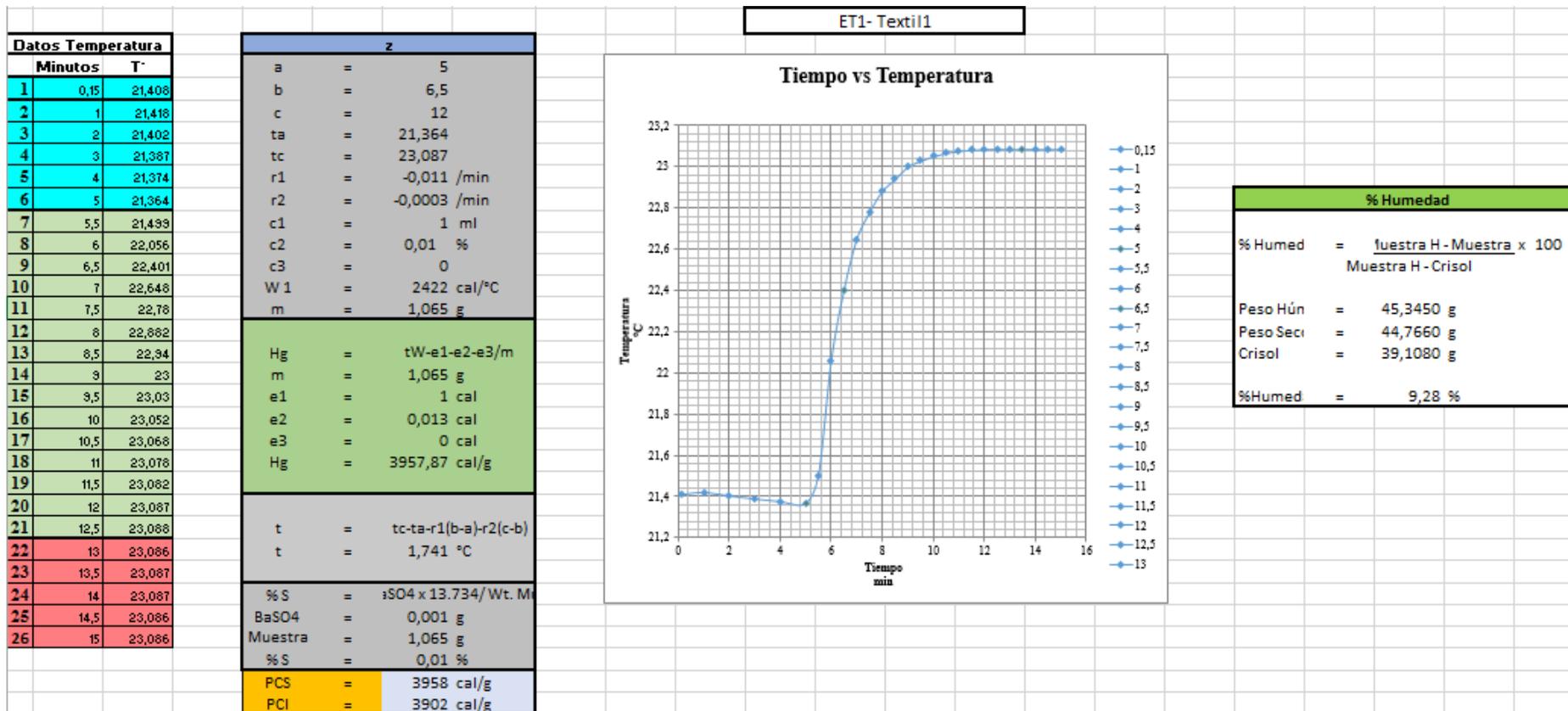


Elaborado por: Otero, 2015



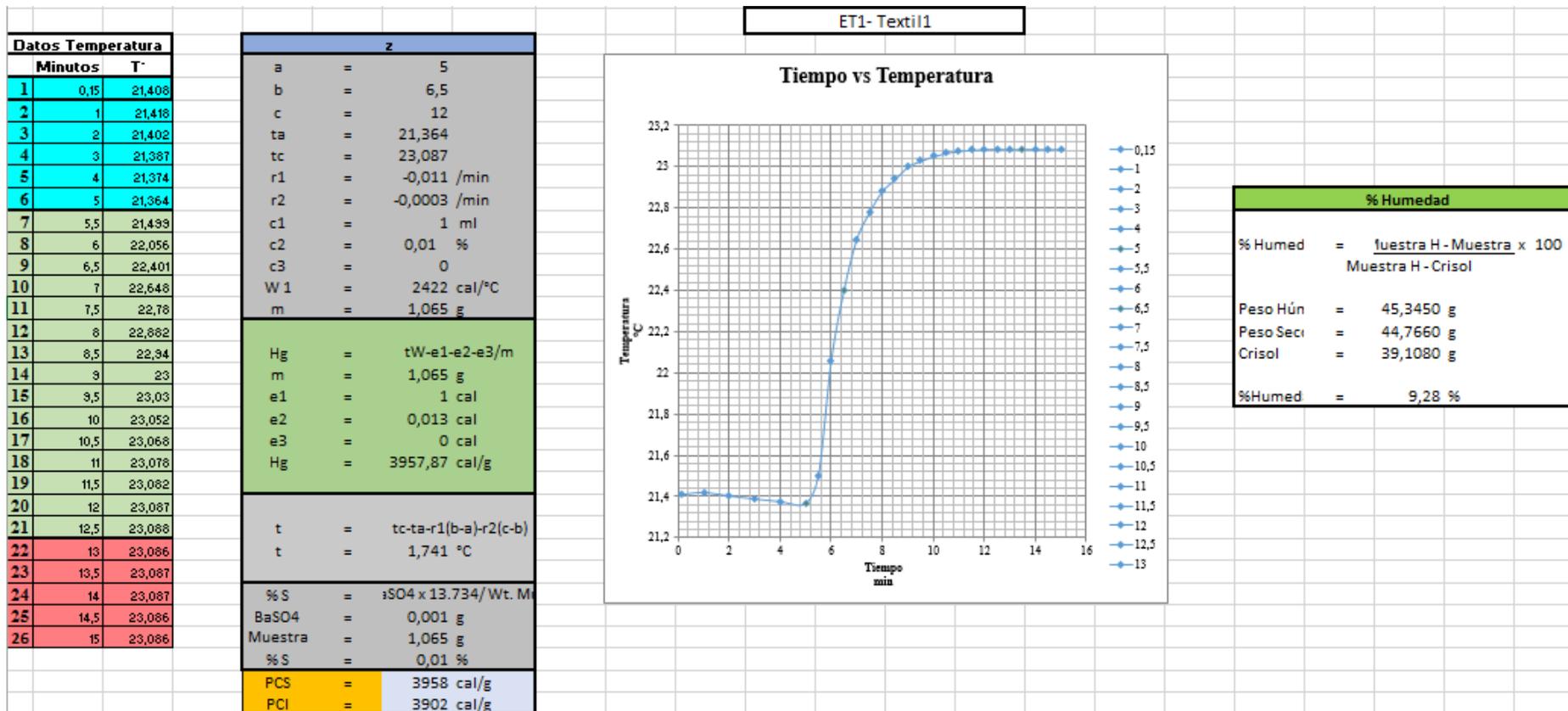
Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

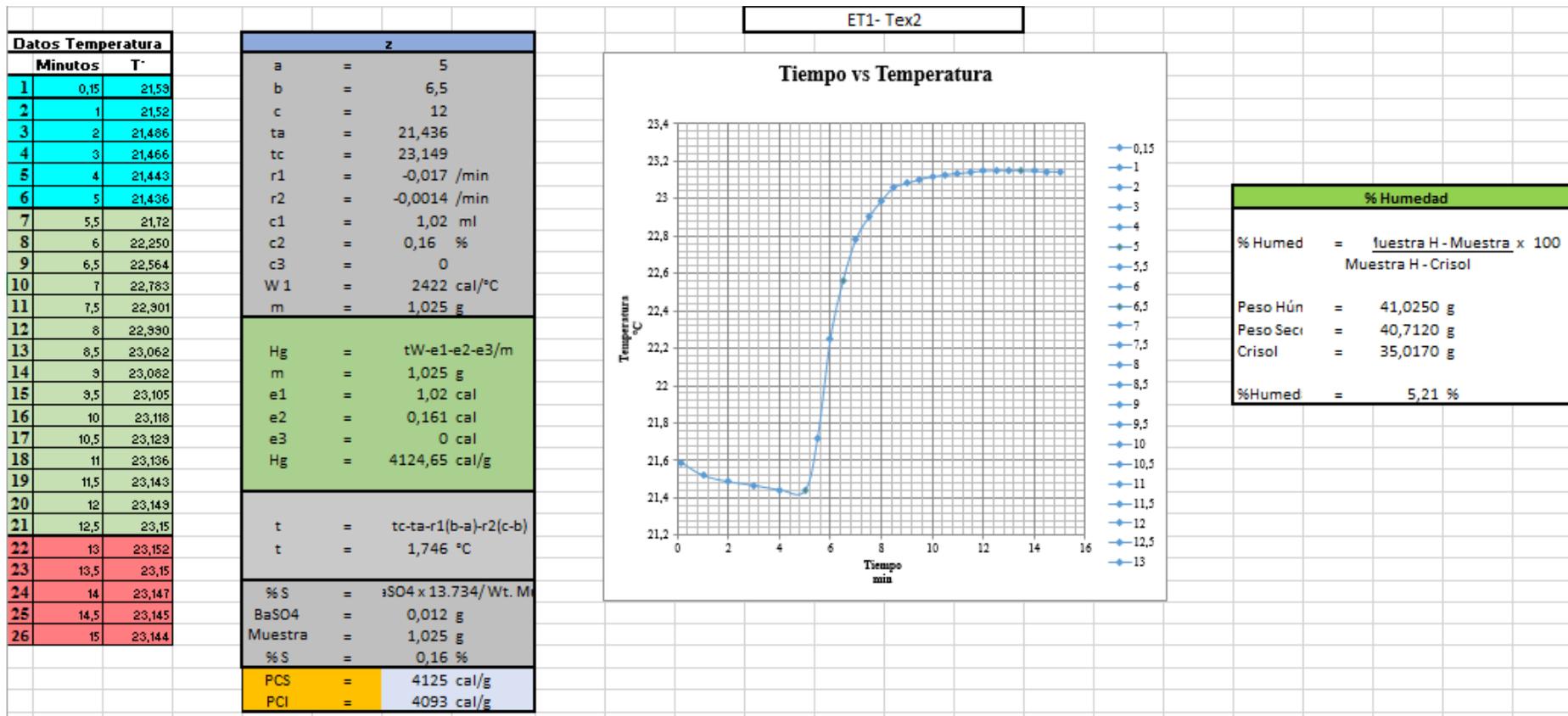


Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

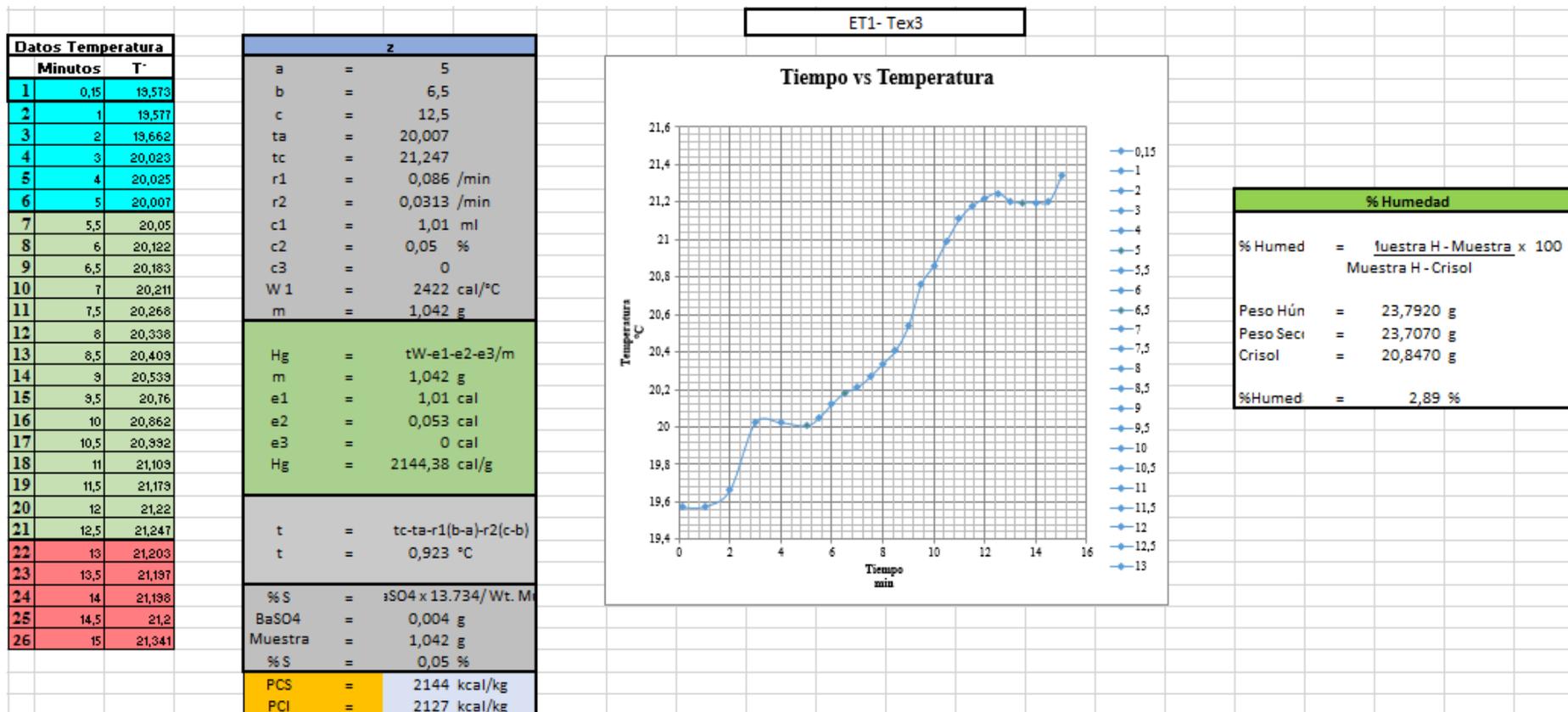


Elaborado por: Otero, 2015

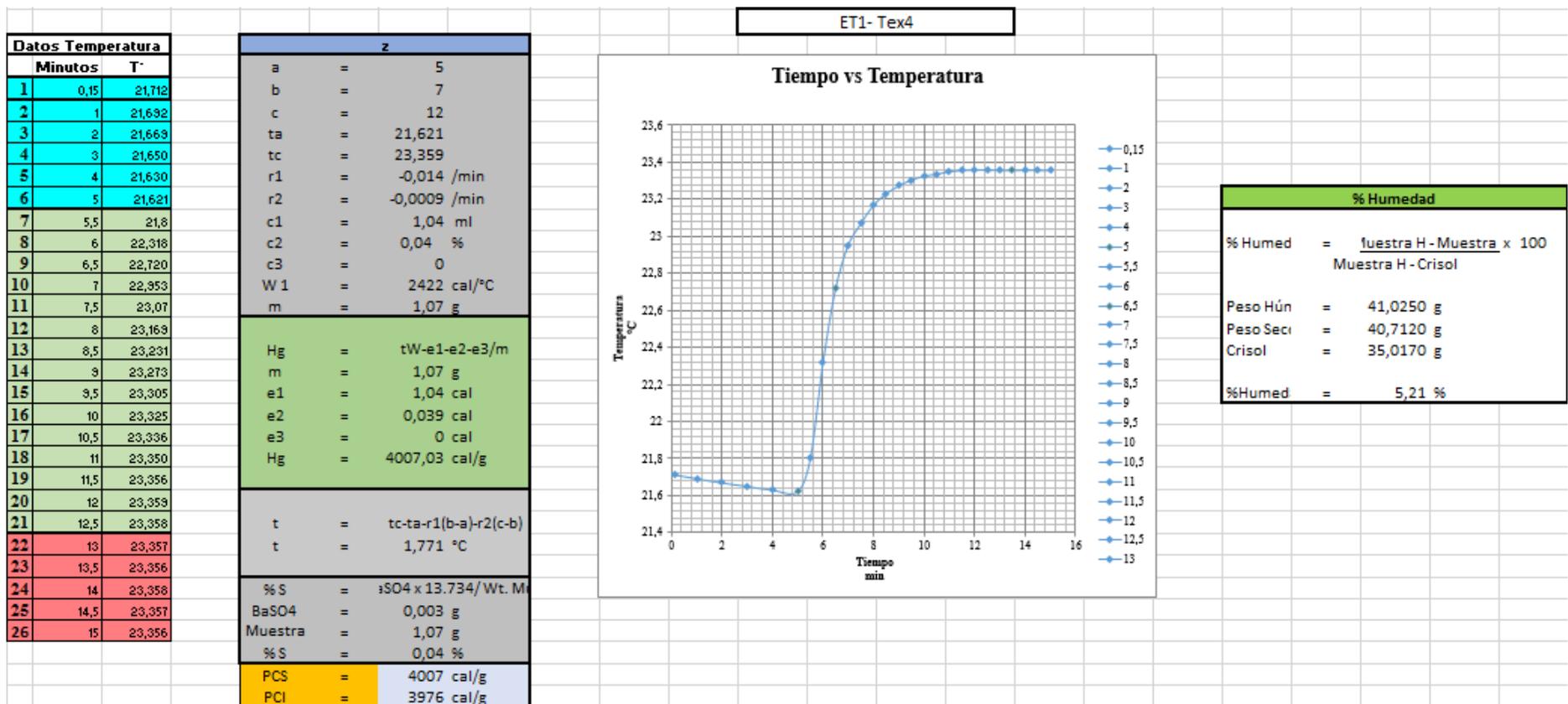


Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

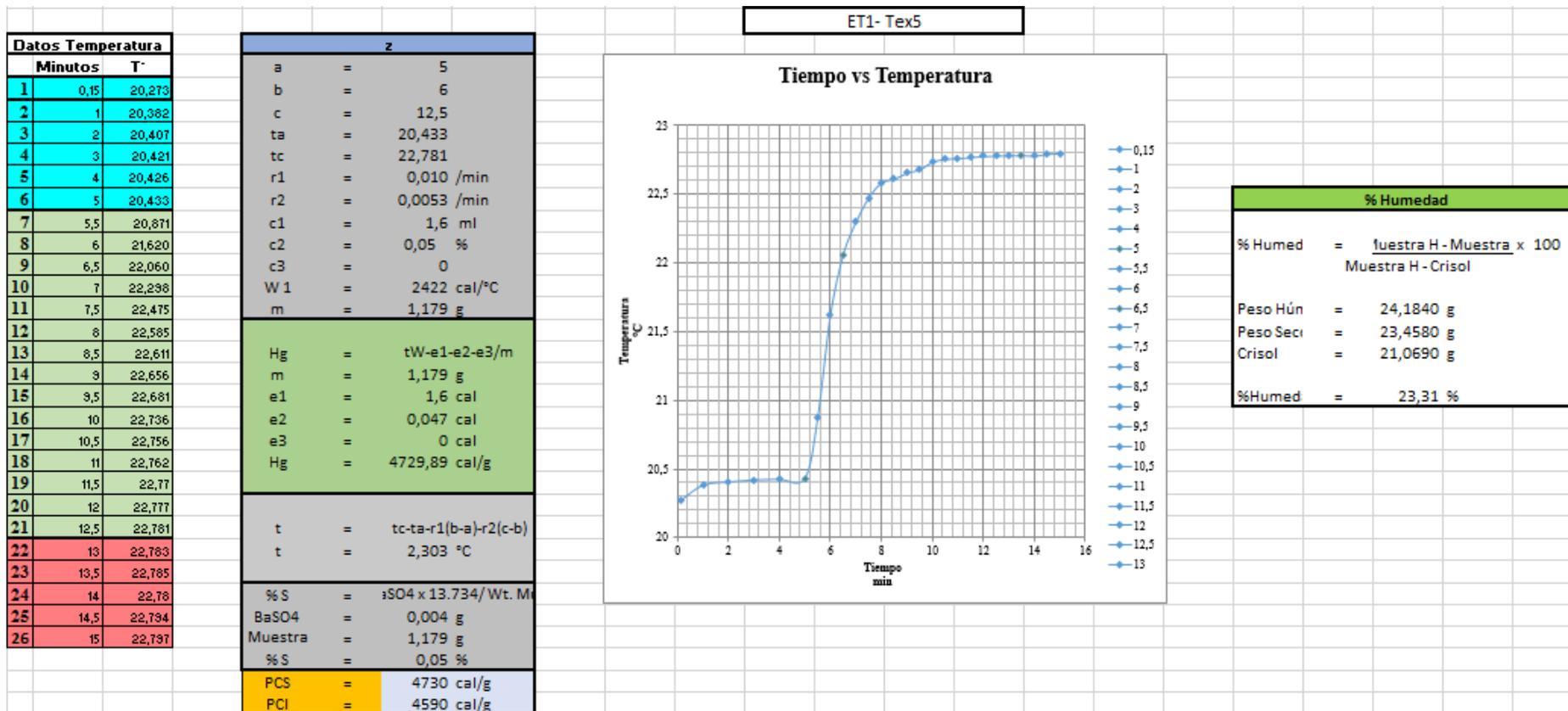


Elaborado por: Otero, 2015

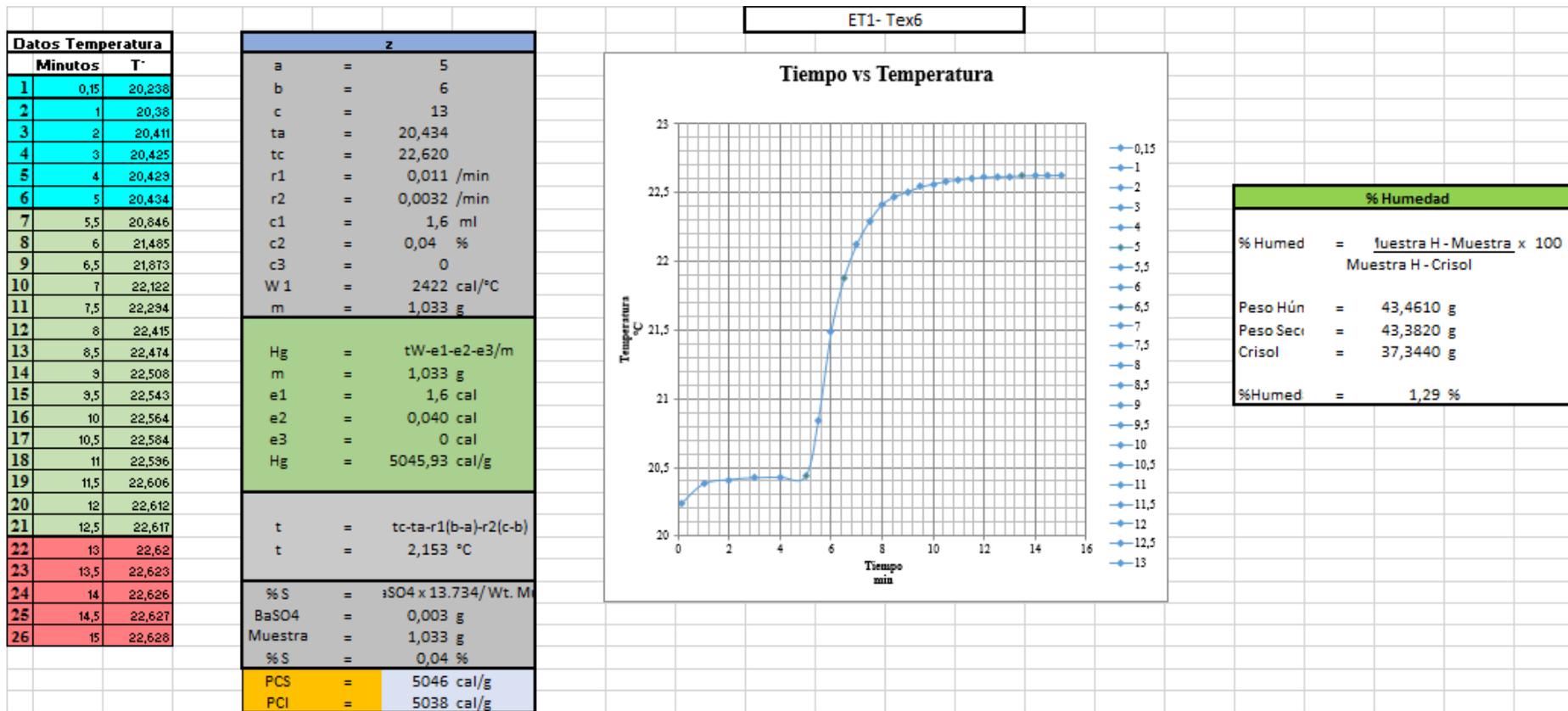


Elaborado por: Otero, 2015

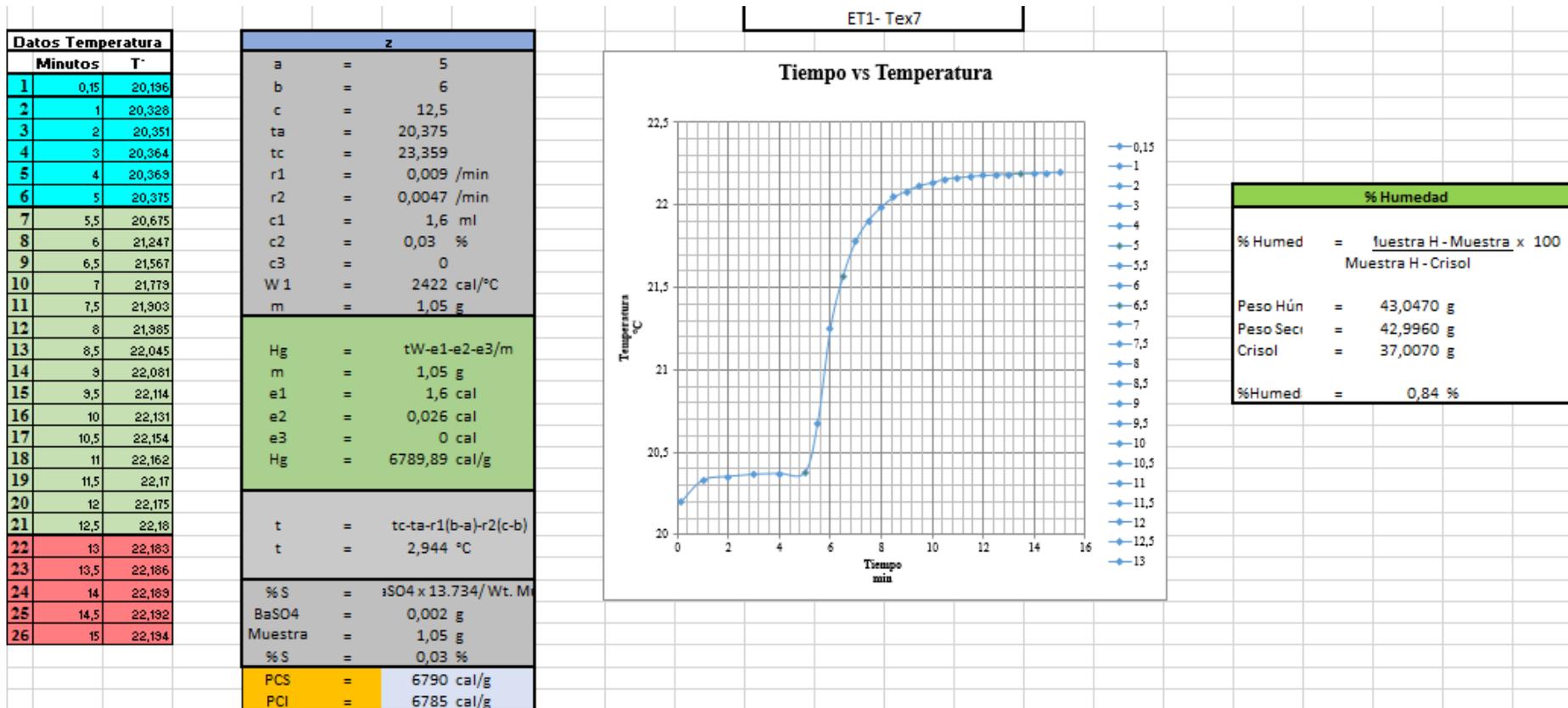
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



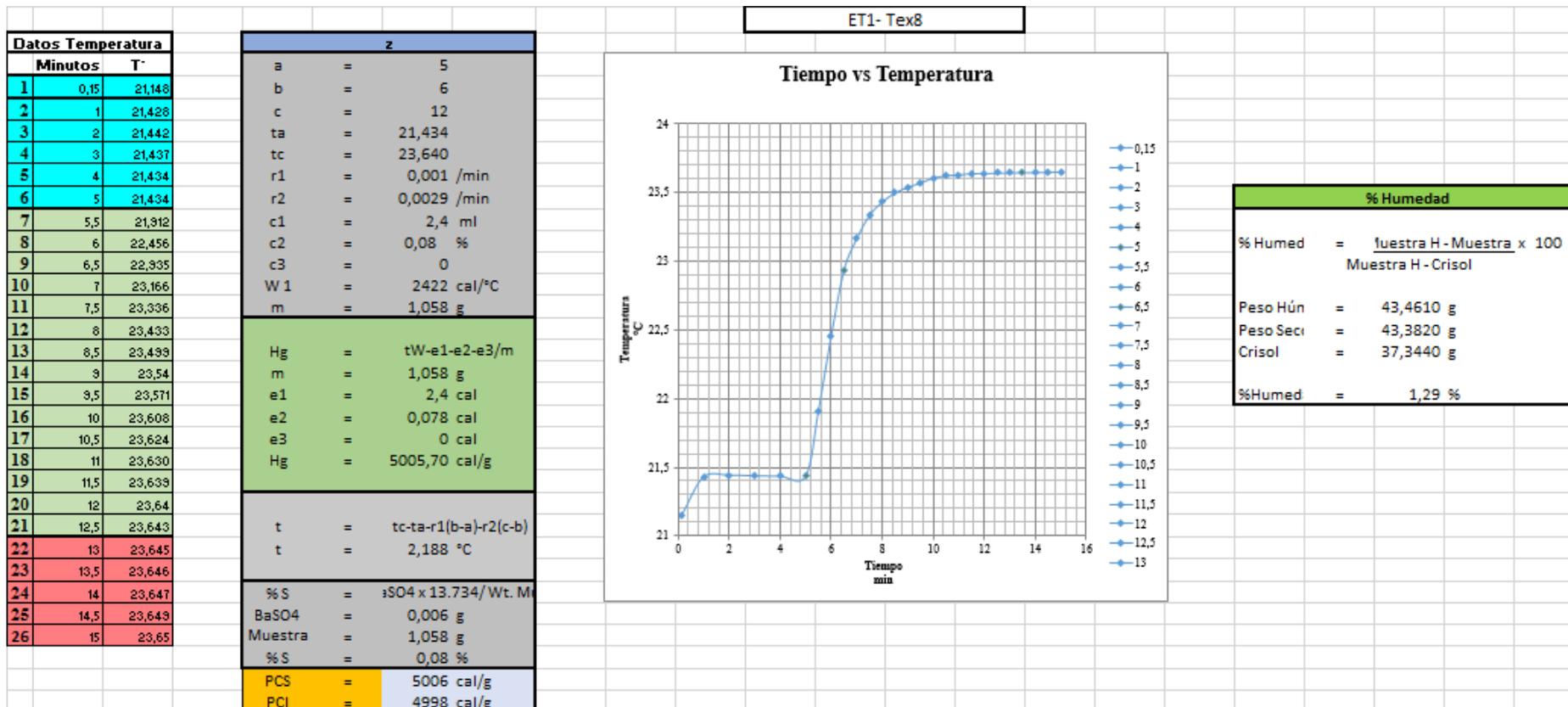
Elaborado por: Otero, 2015



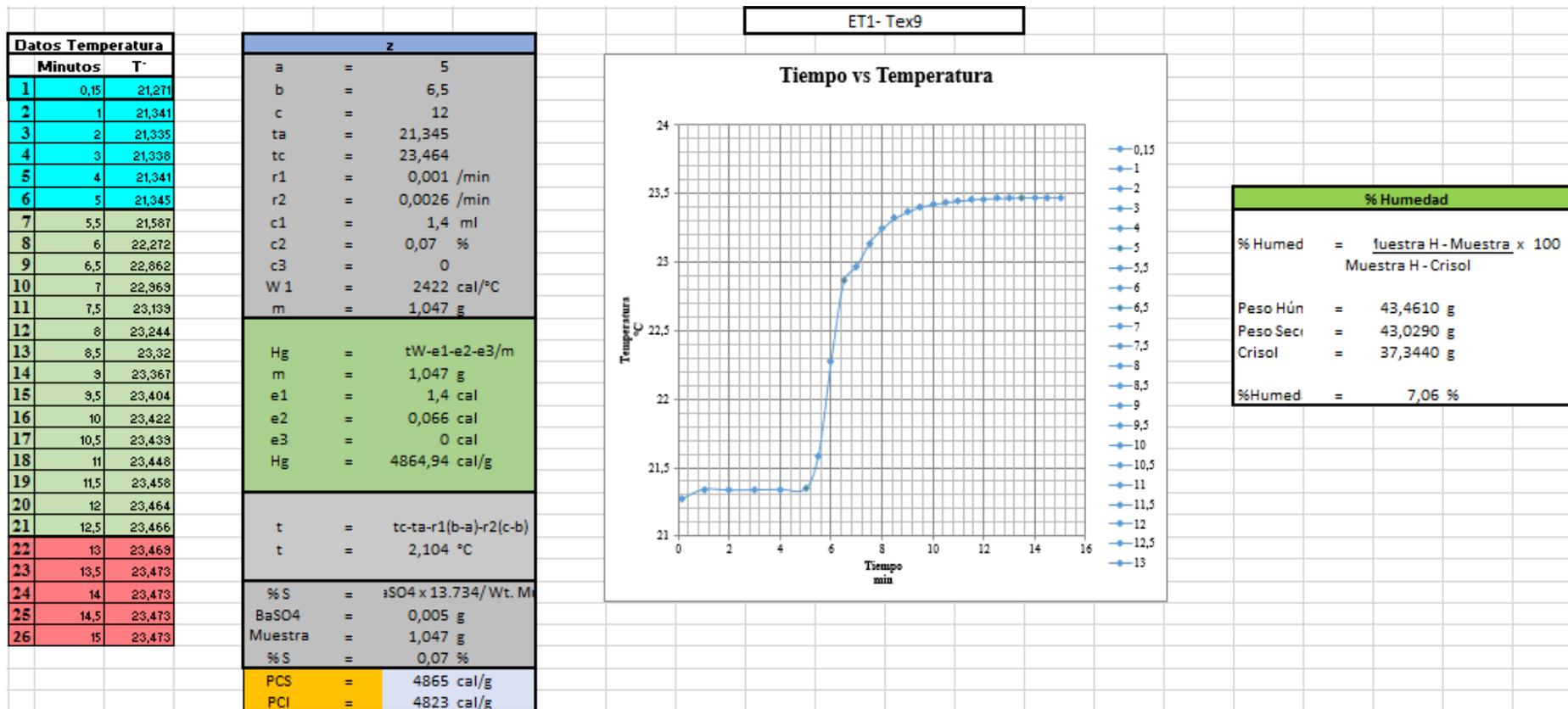
Elaborado por: Otero, 2015



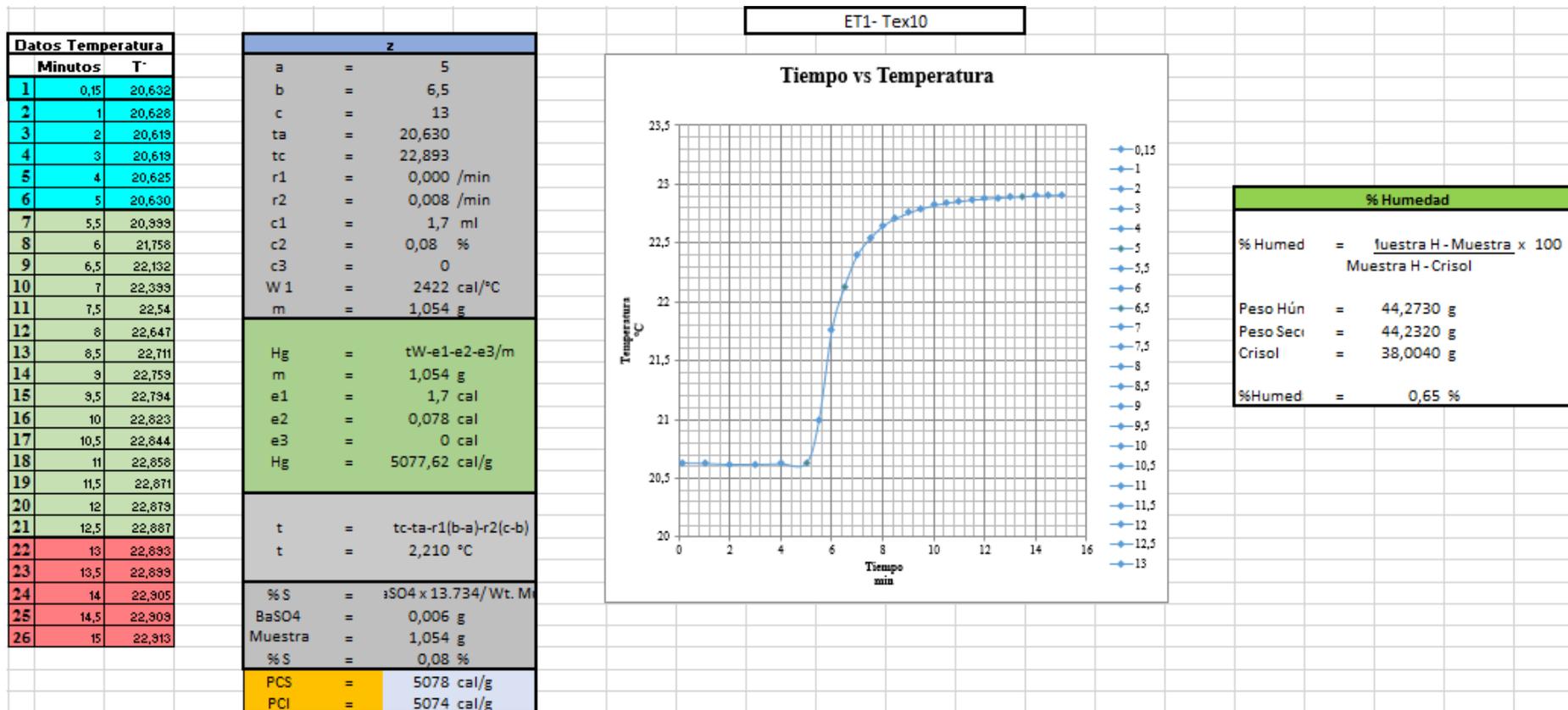
Elaborado por: Otero, 2015



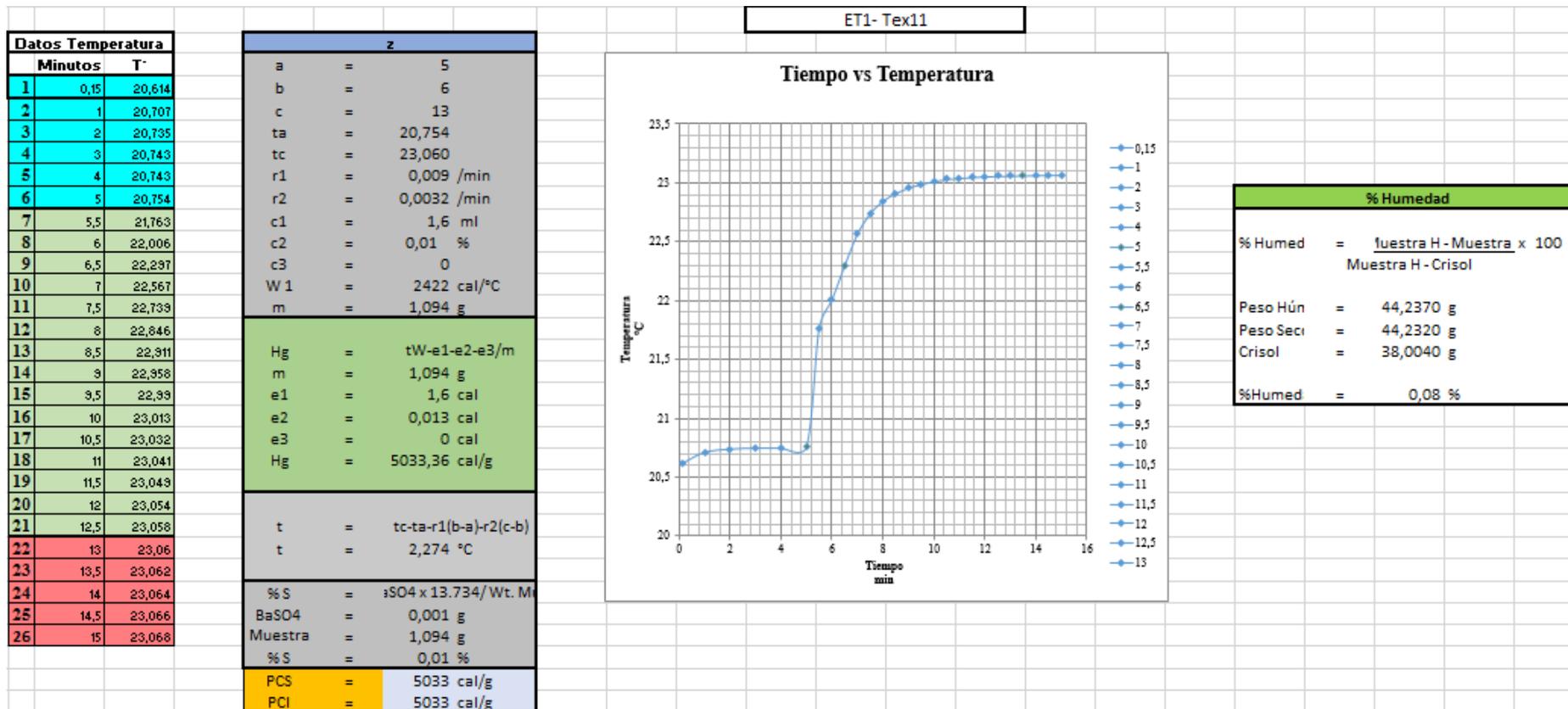
Elaborado por: Otero, 2015



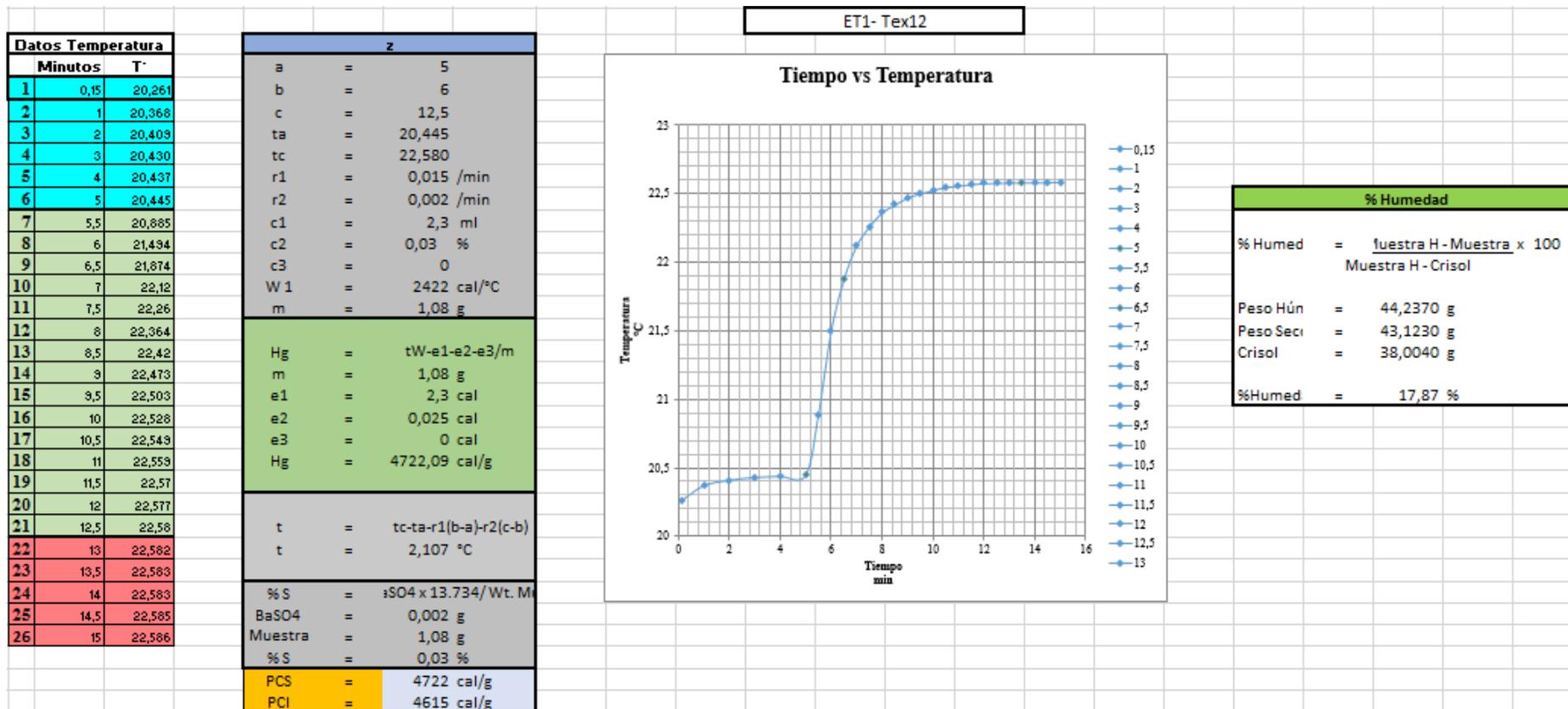
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

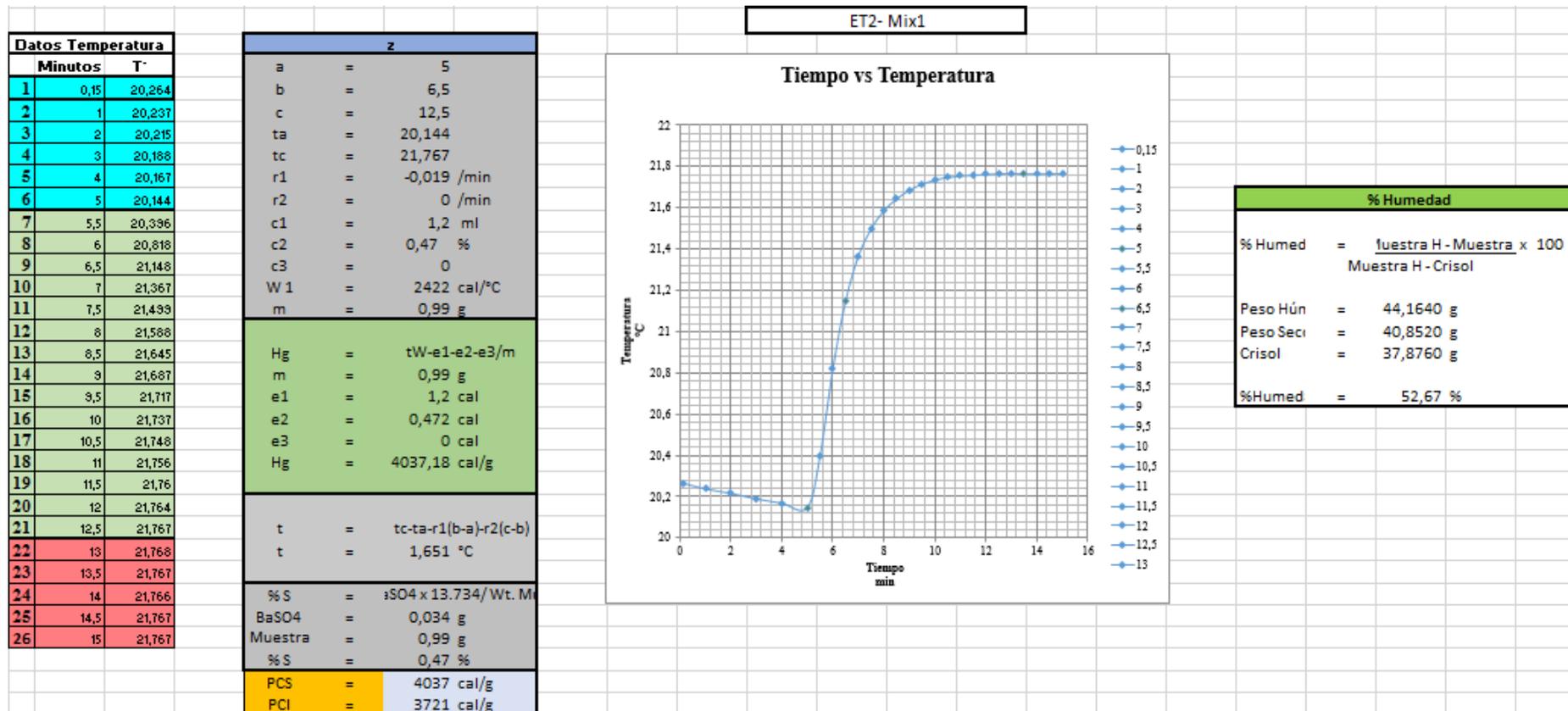


Elaborado por: Otero, 2015



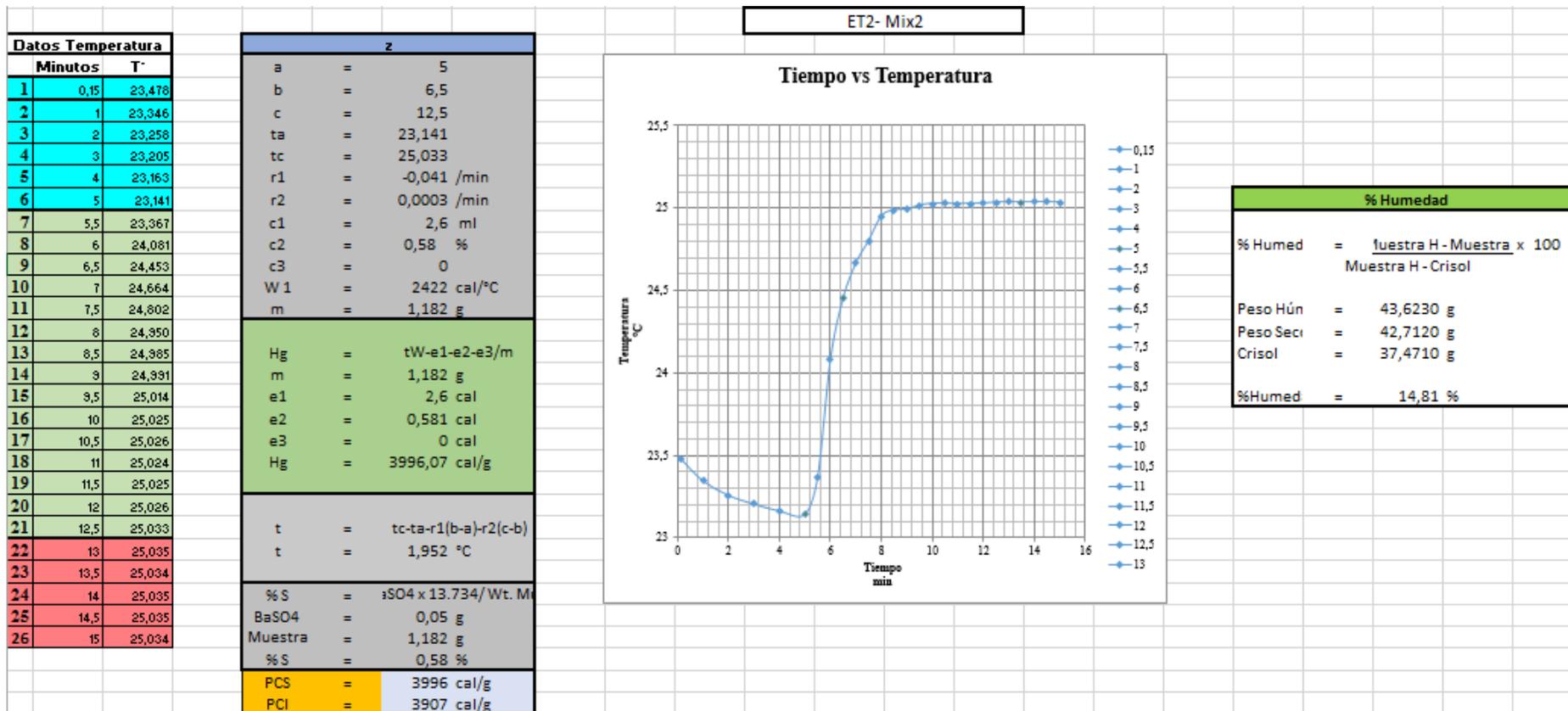
Elaborado por: Otero, 2015

Estación de Transferencia 2: Zambiza



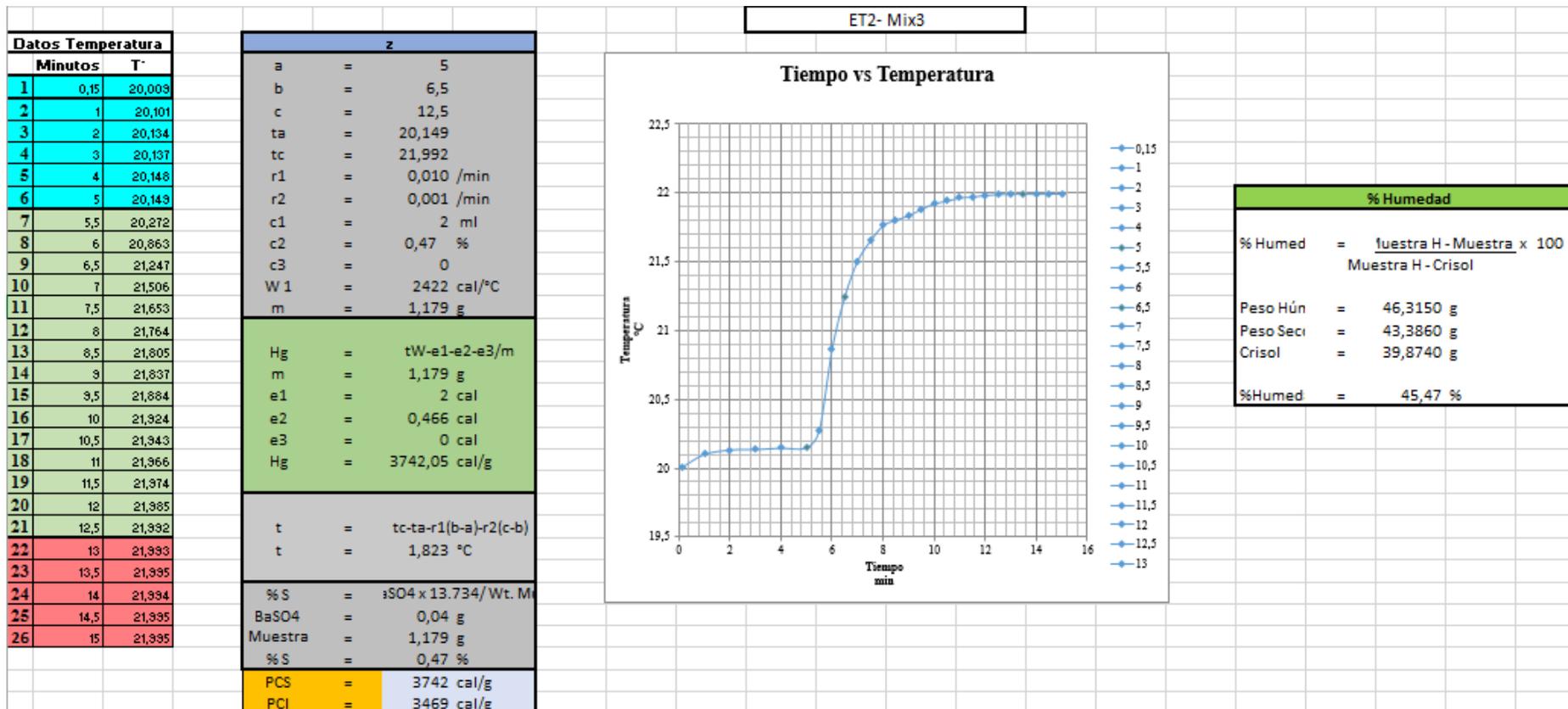
Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

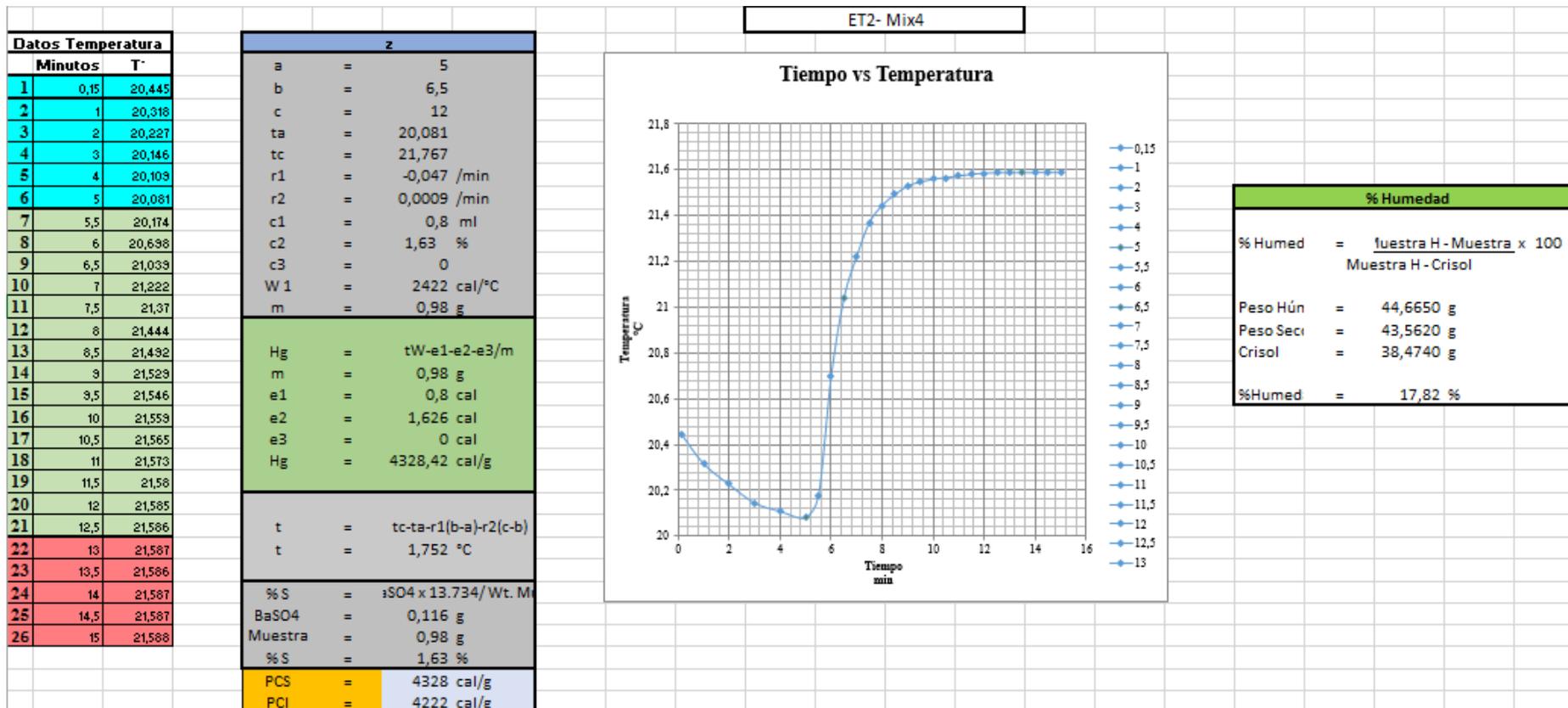


Elaborado por: Otero, 2015

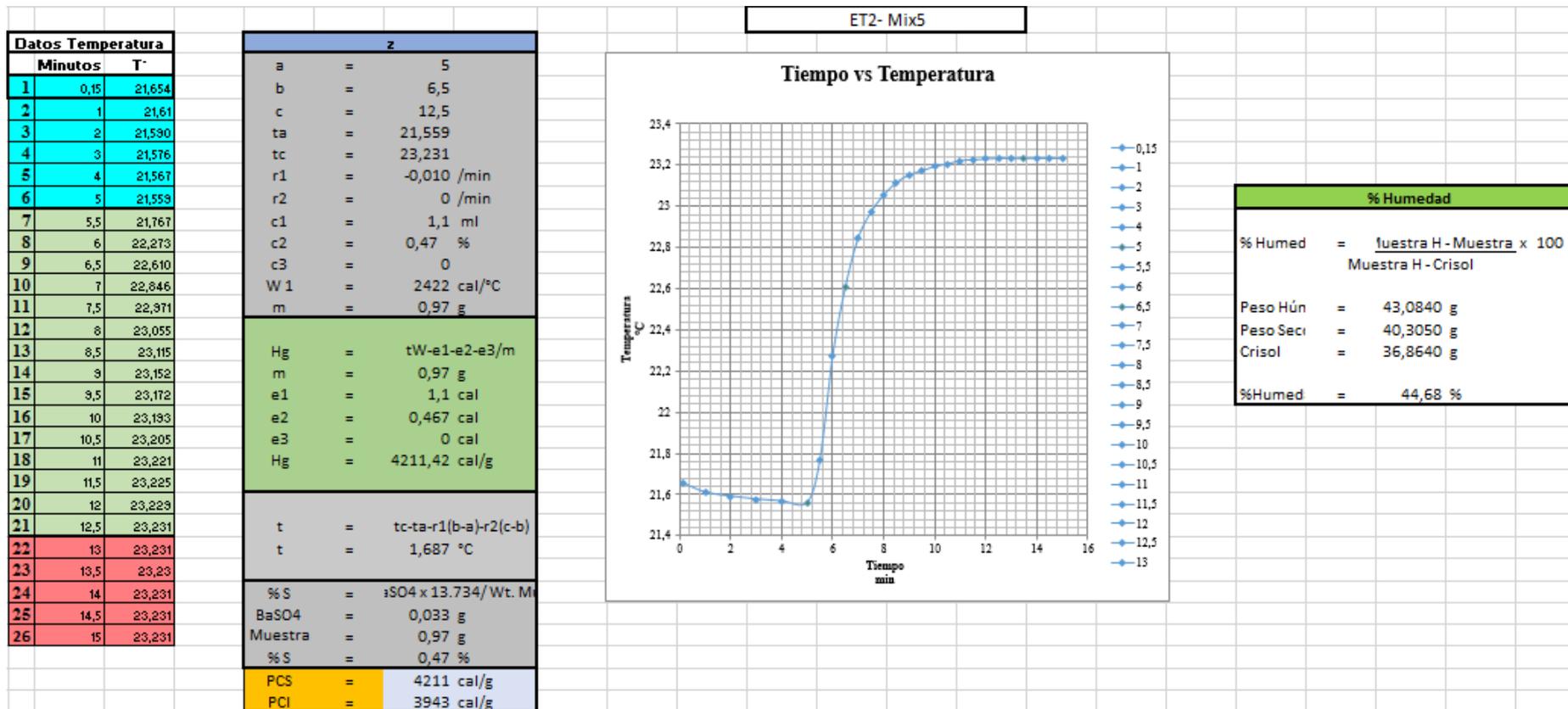
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



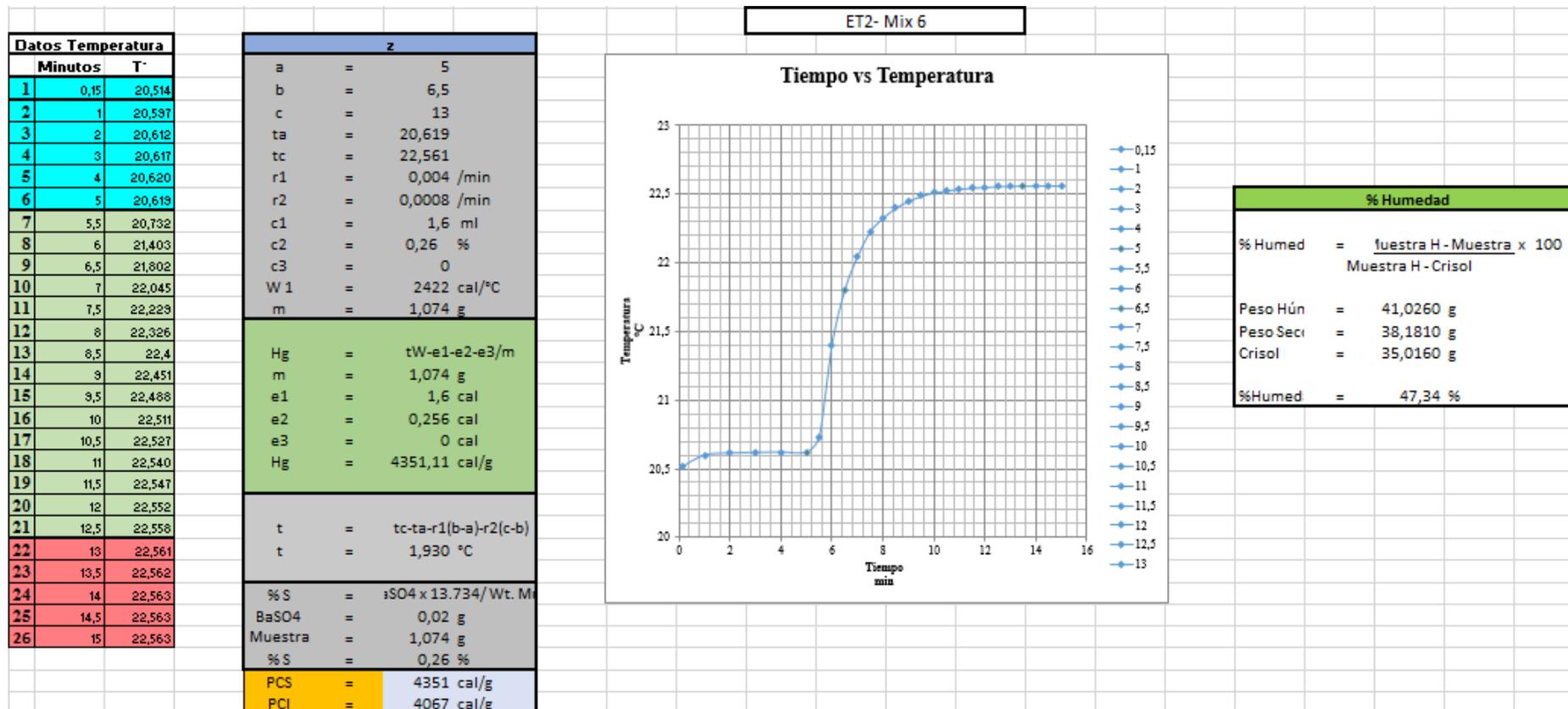
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

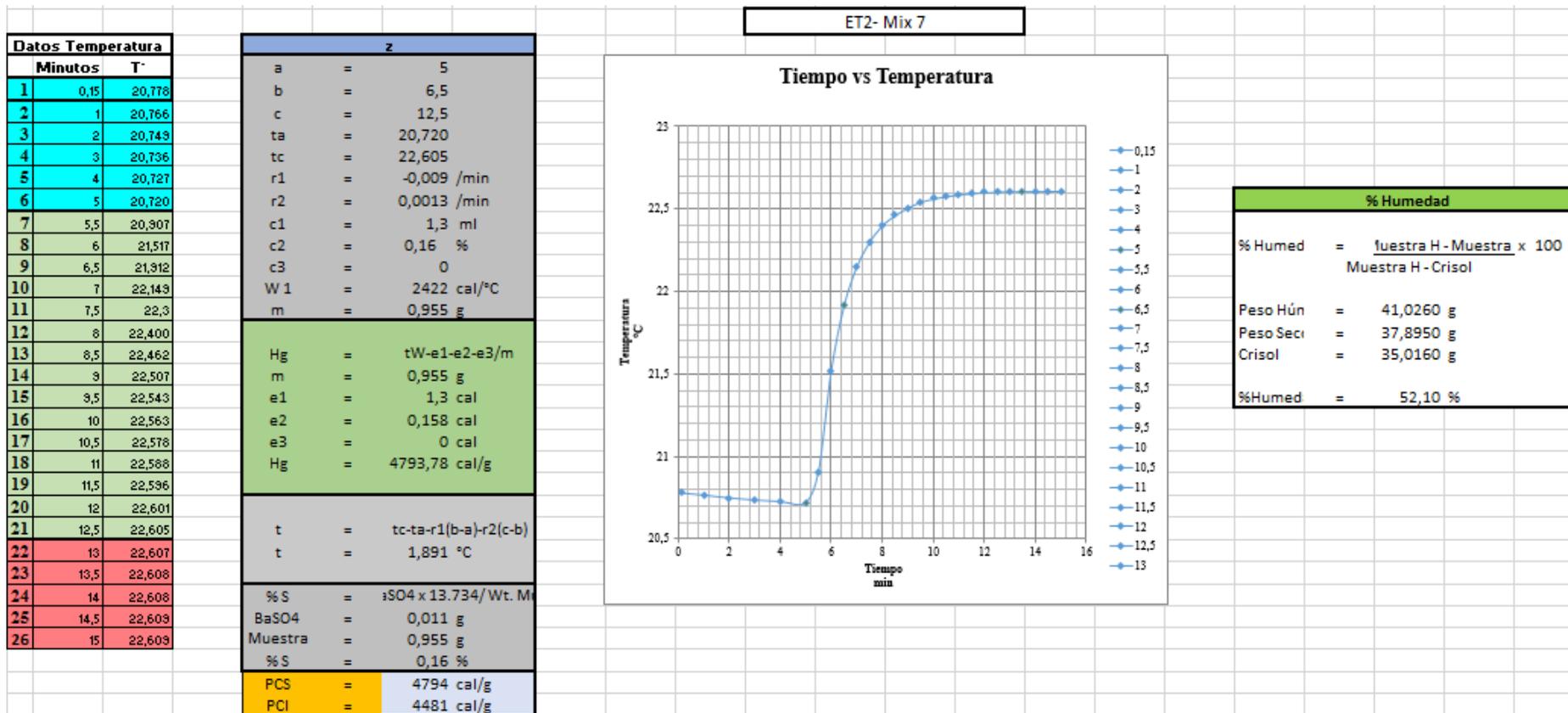


Elaborado por: Otero, 2015

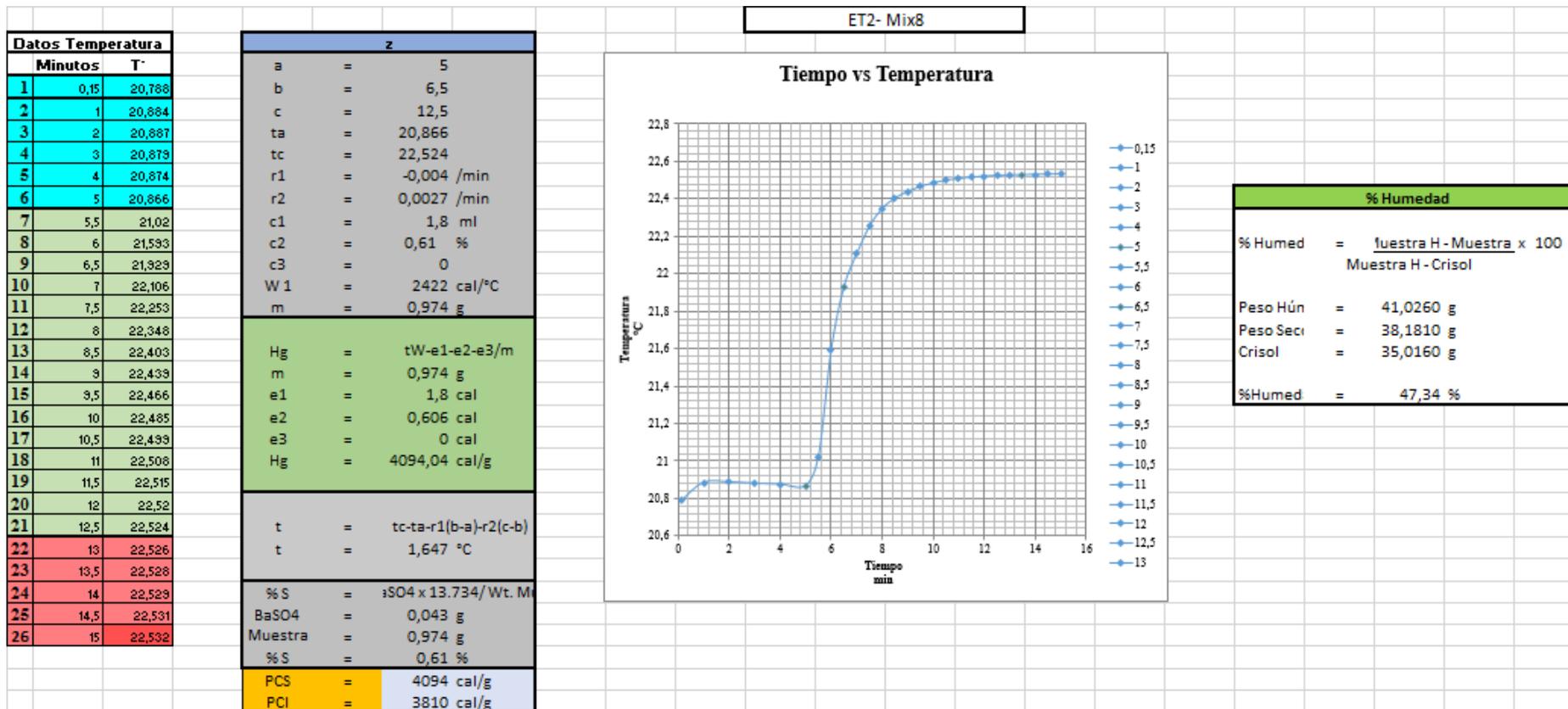


Elaborado por: Otero, 2015

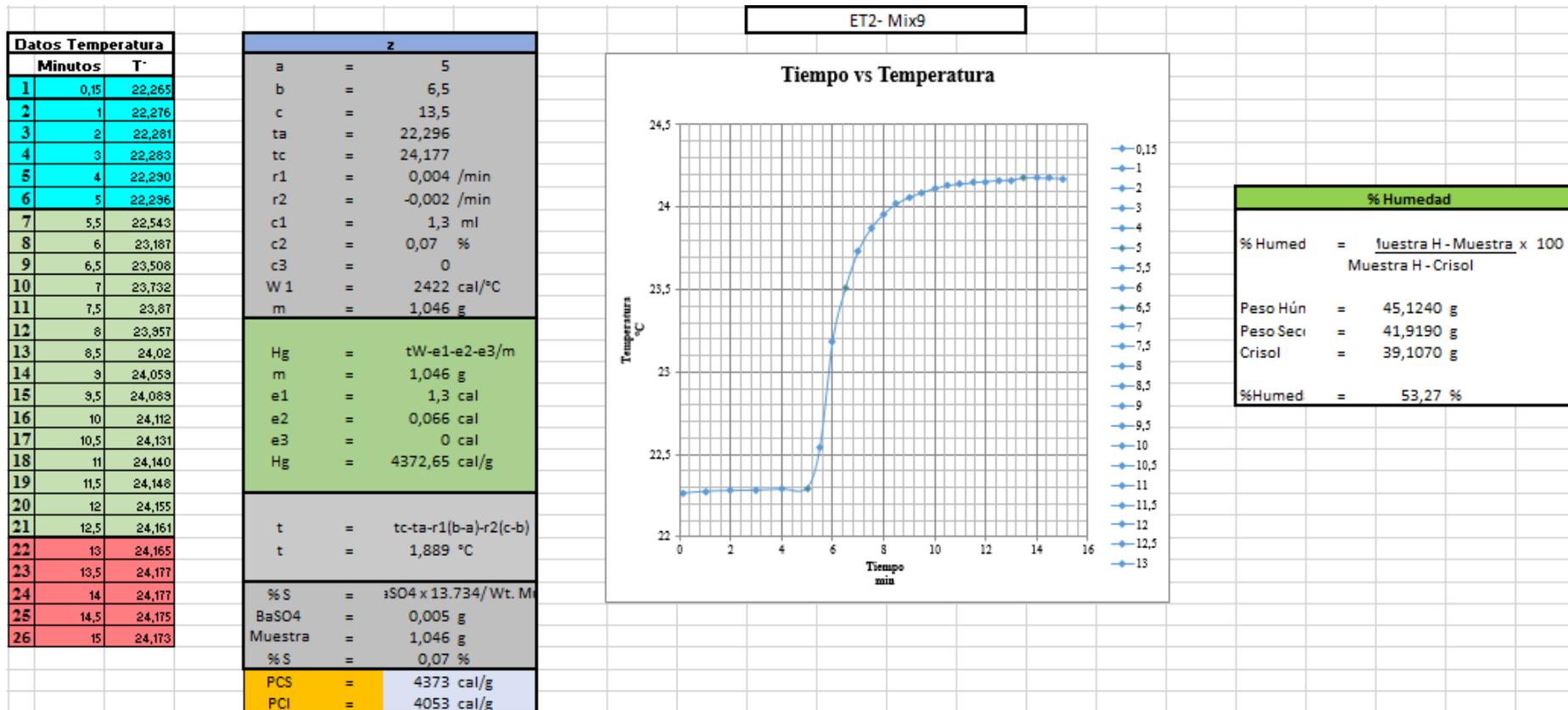
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



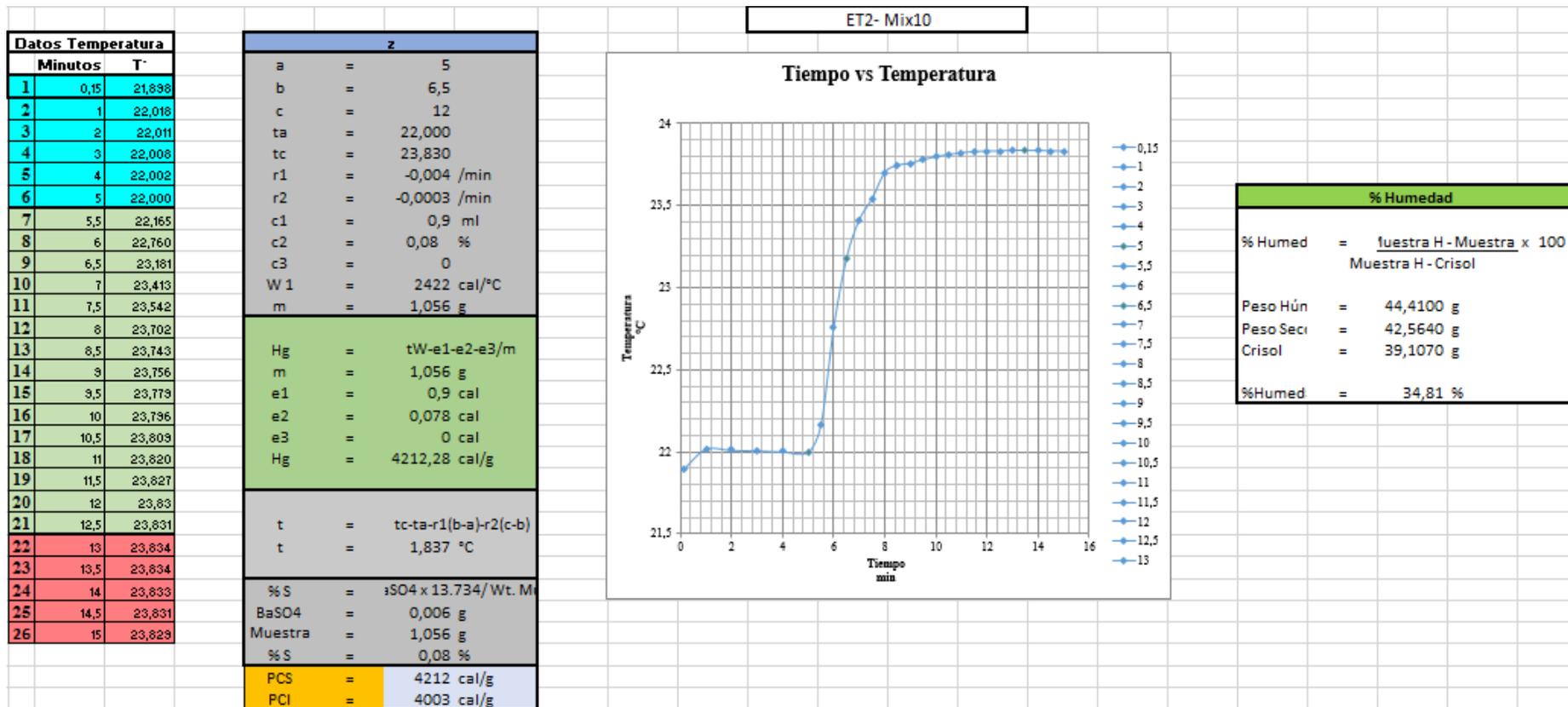
Elaborado por: Otero, 2015



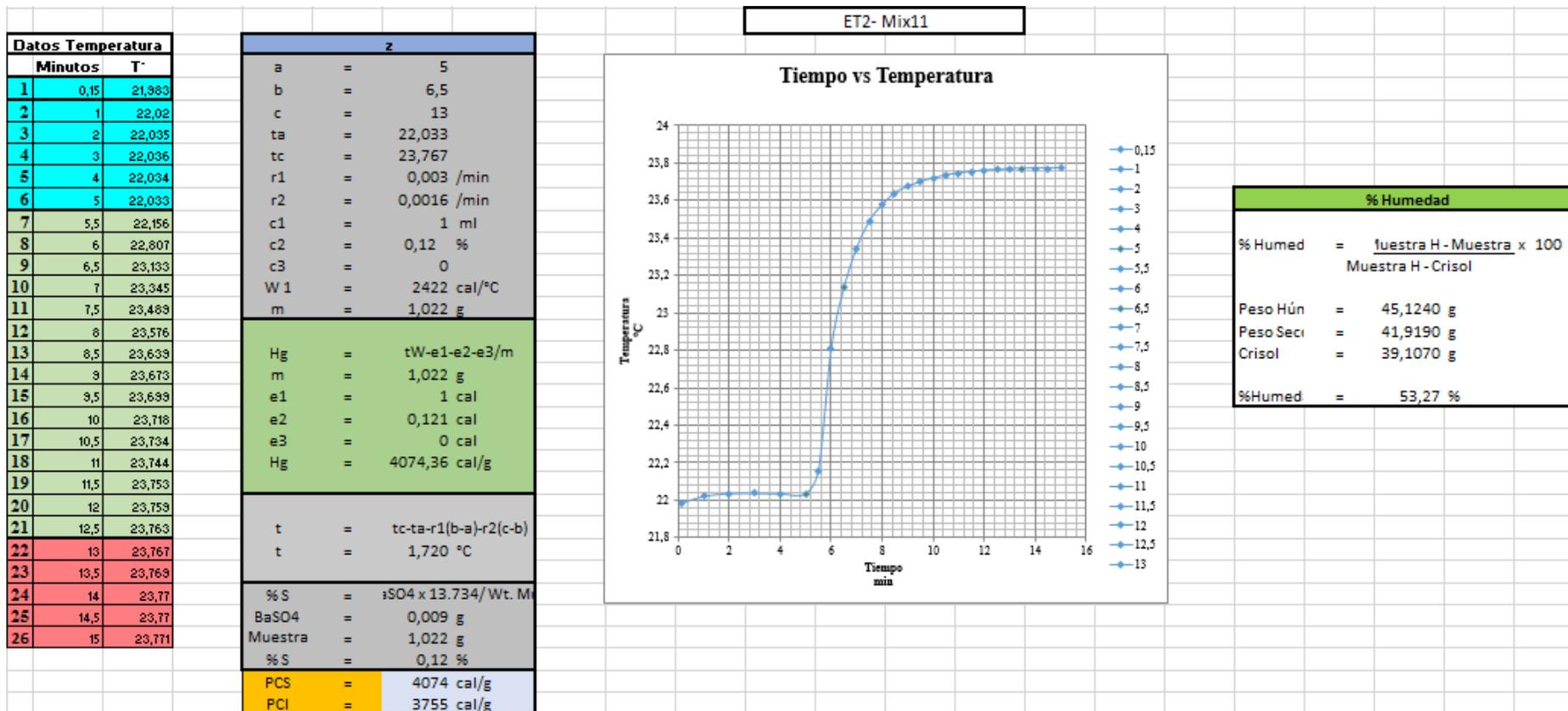
Elaborado por: Otero, 2015



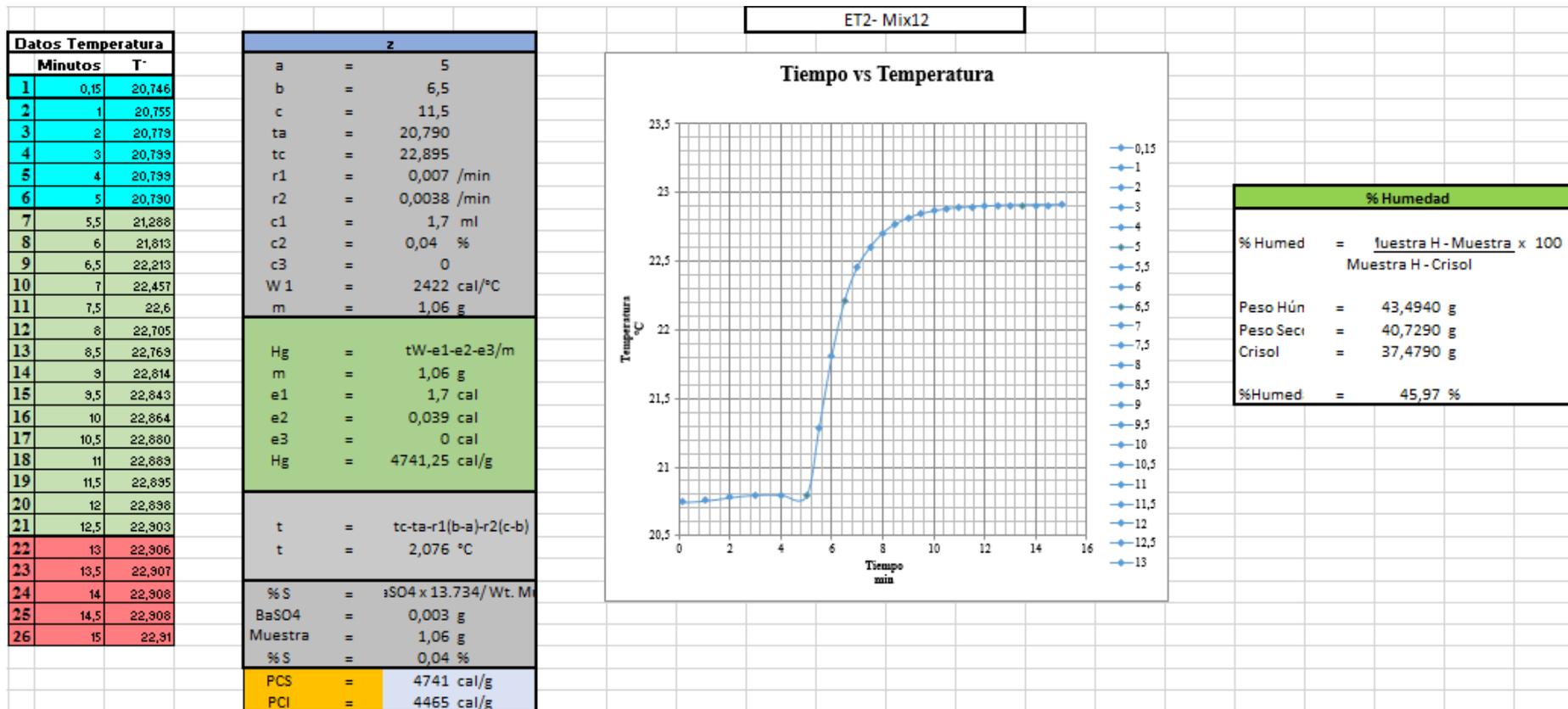
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

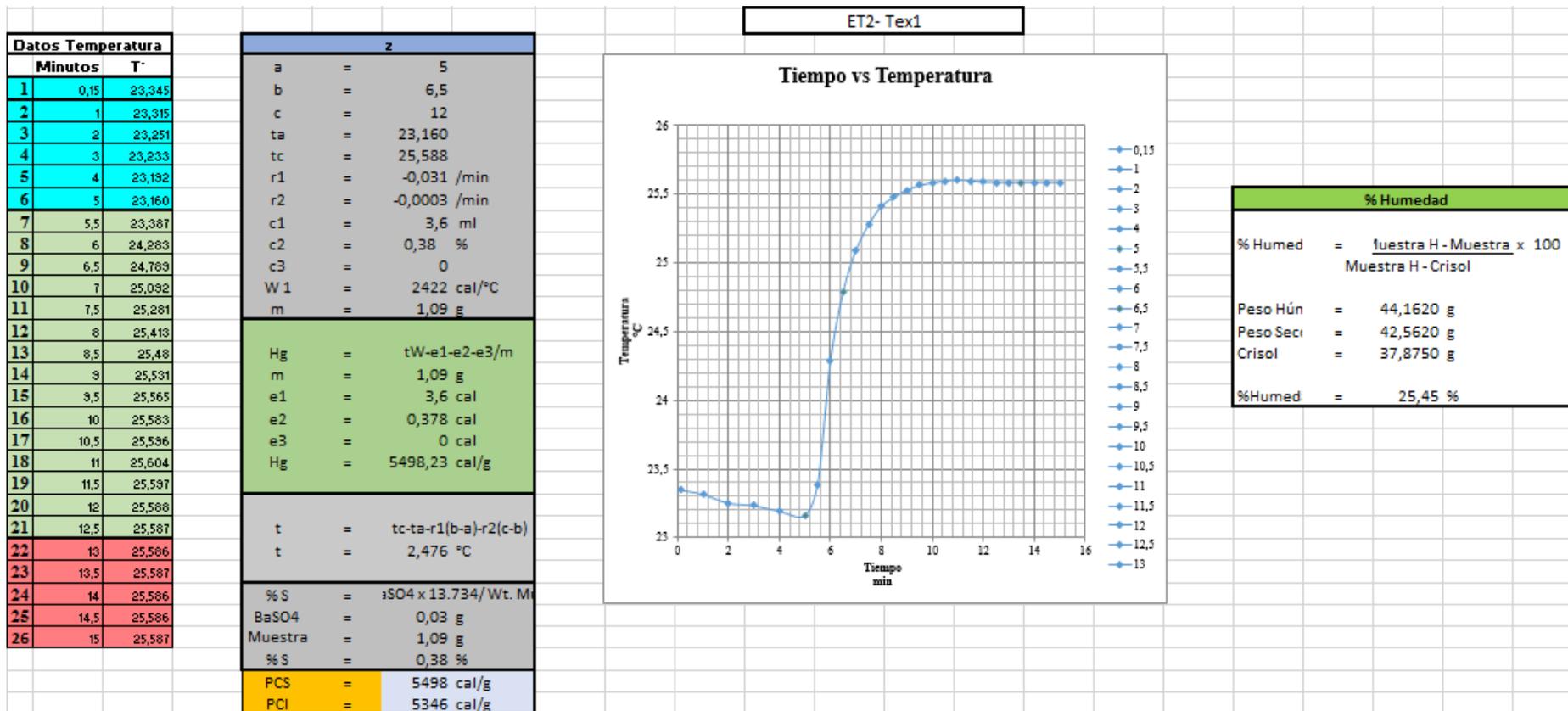


Elaborado por: Otero, 2015



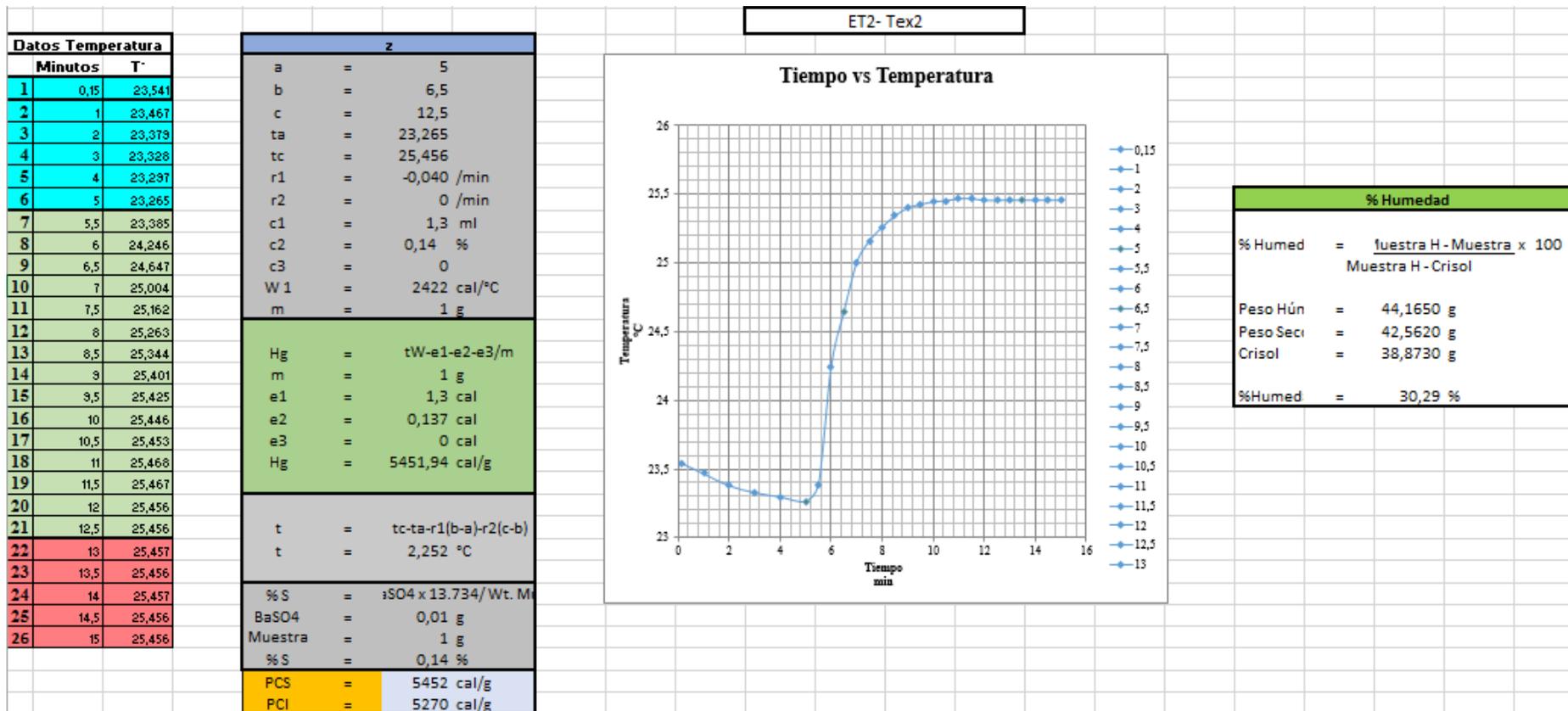
Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.

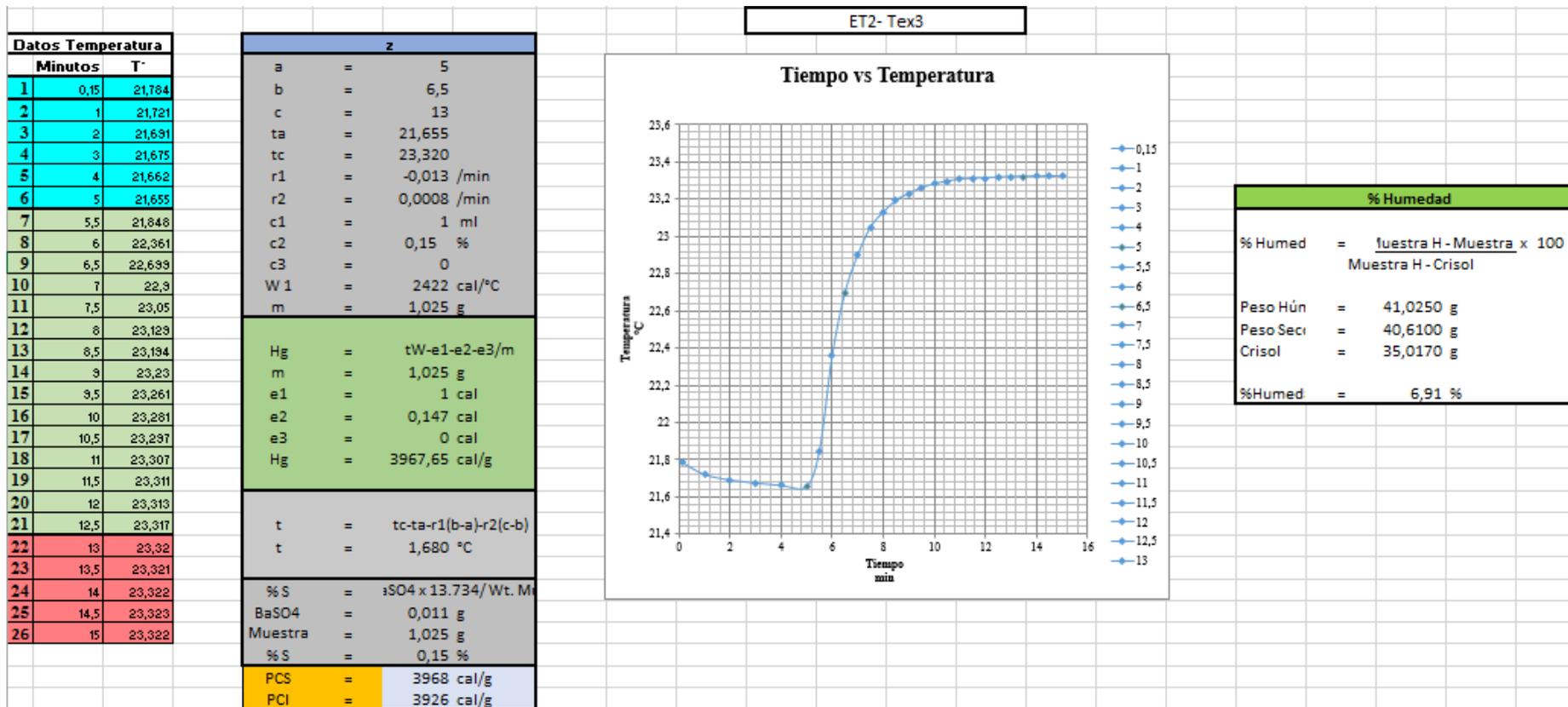


Elaborado por: Otero, 2015

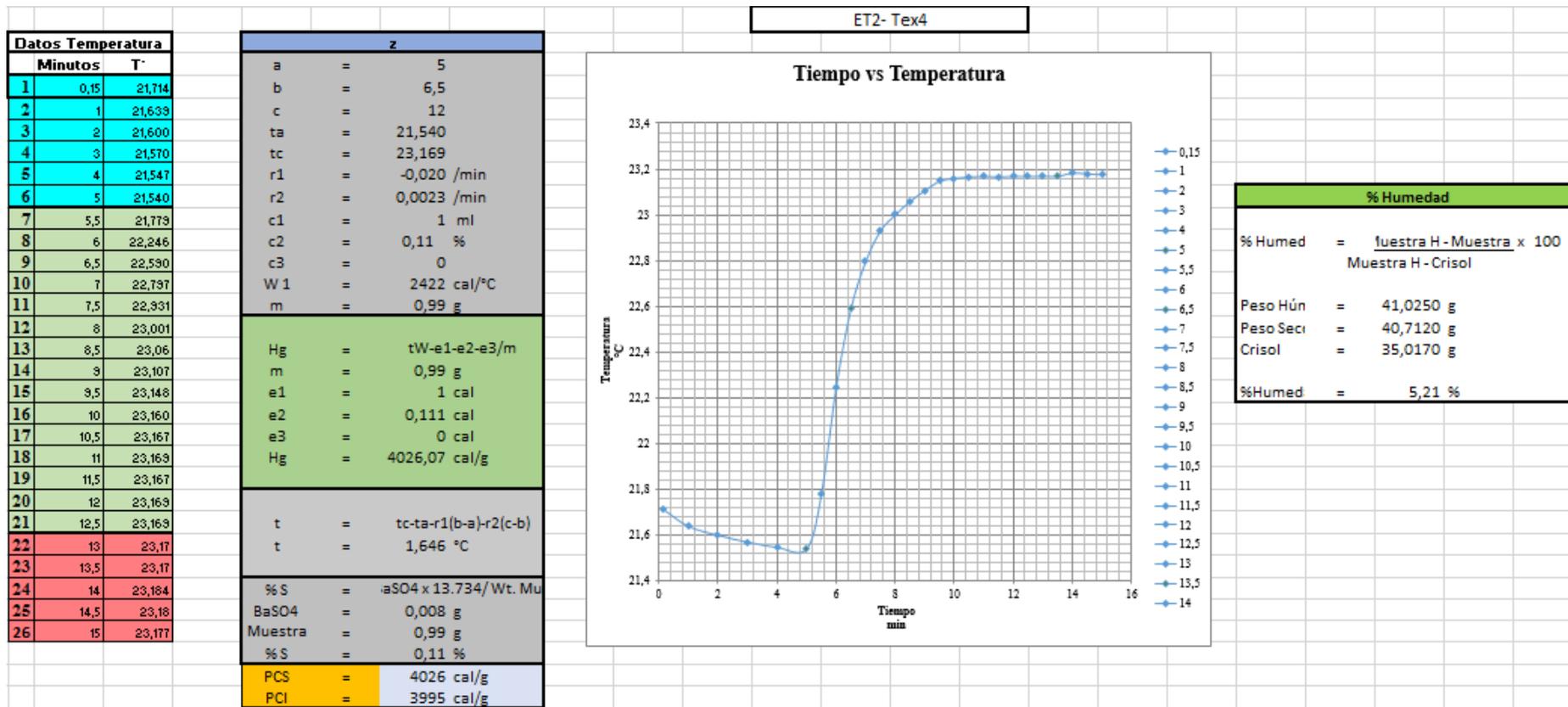
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



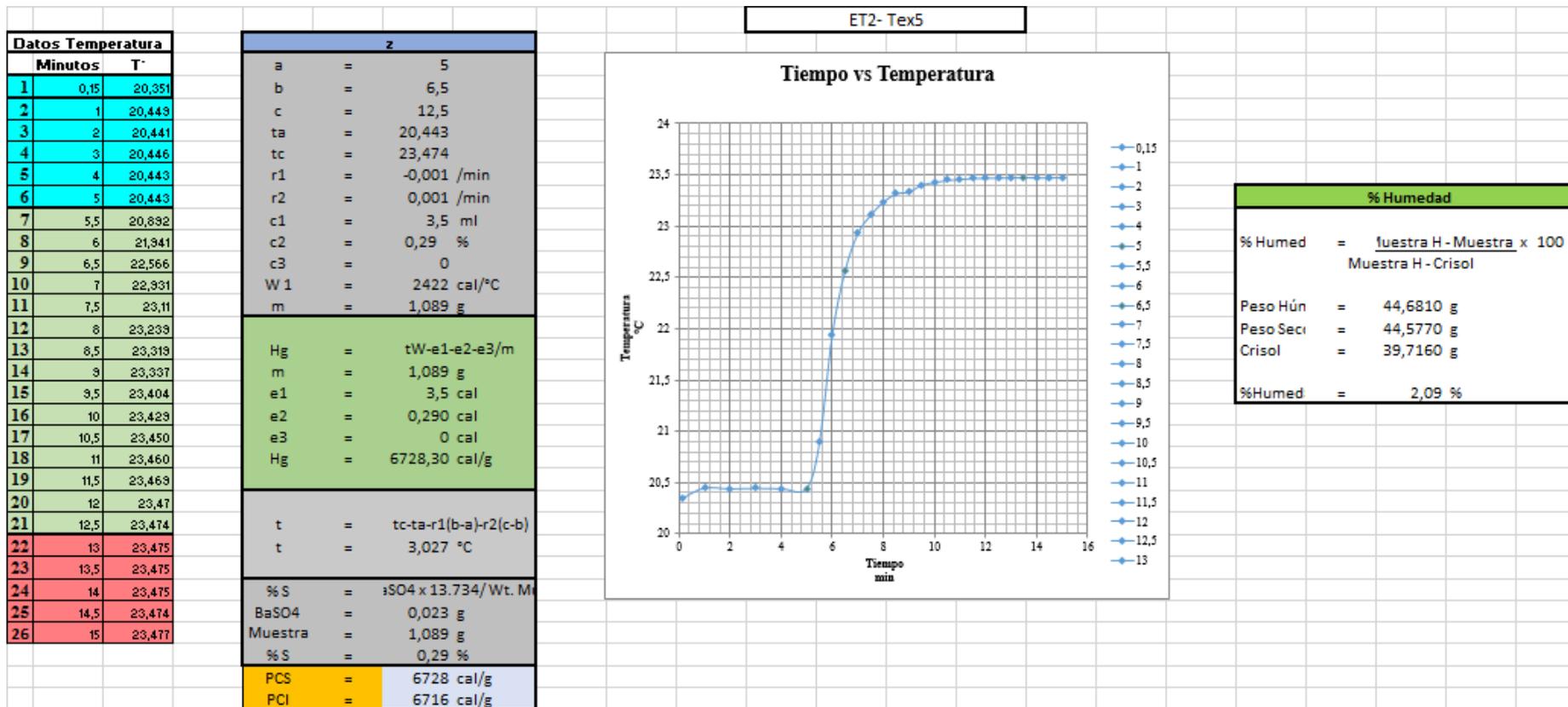
Elaborado por: Otero, 2015



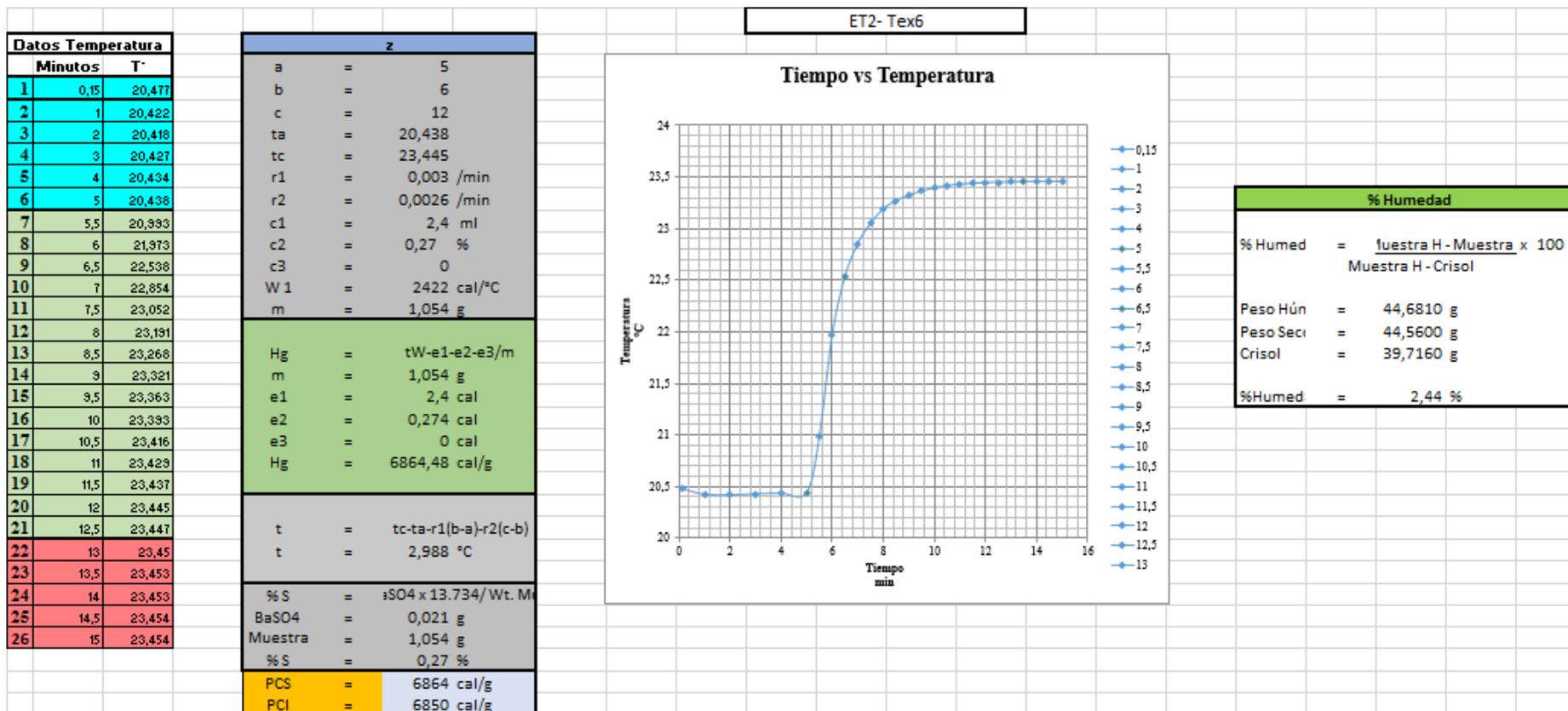
Elaborado por: Otero, 2015



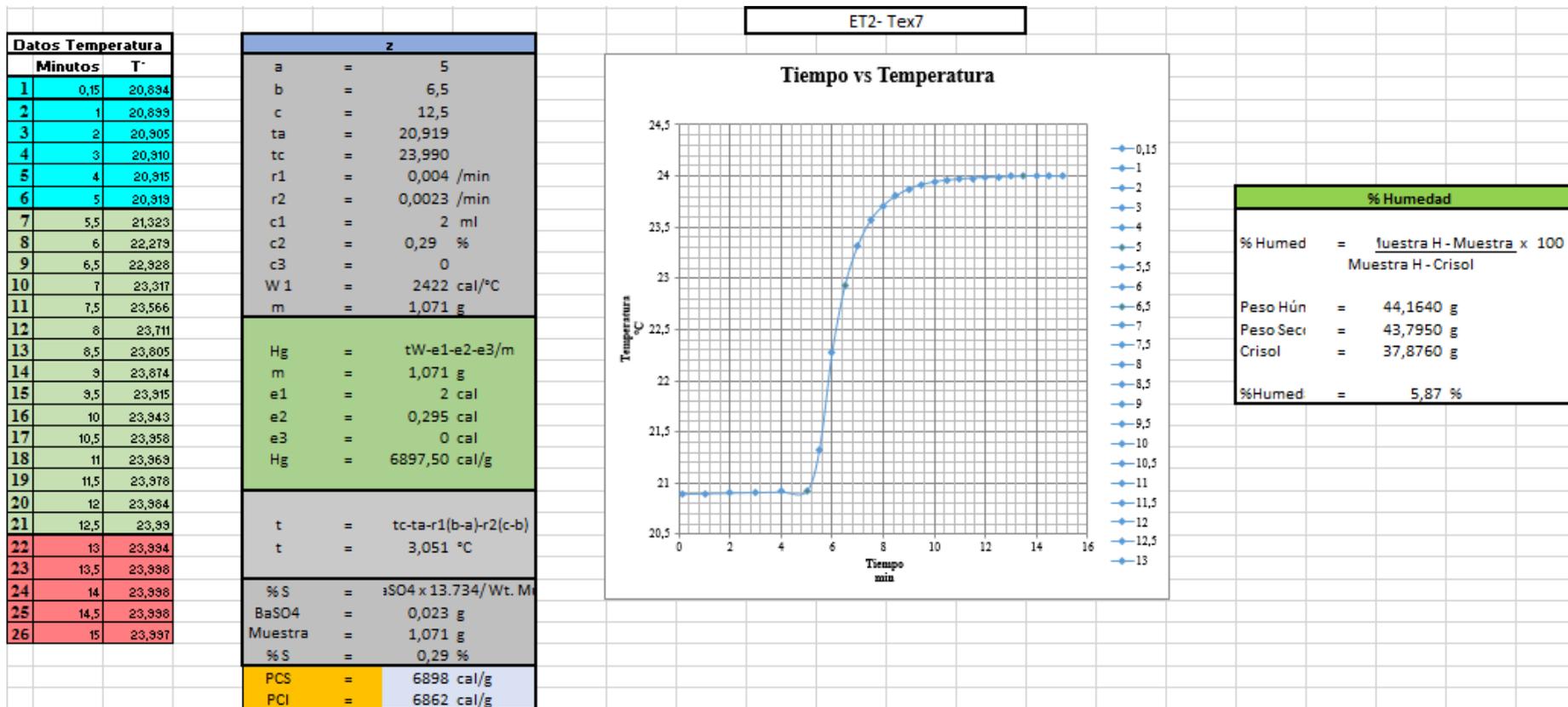
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

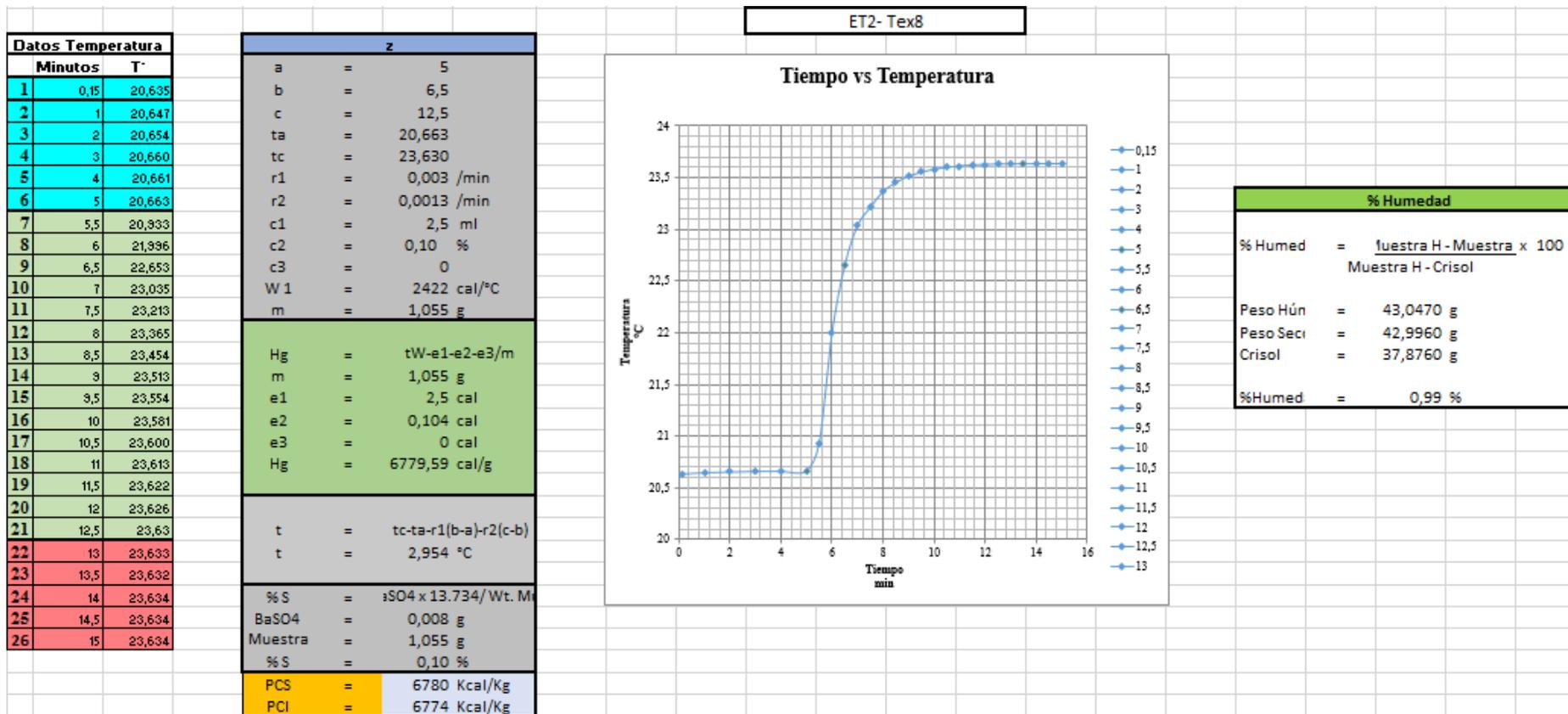


Elaborado por: Otero, 2015

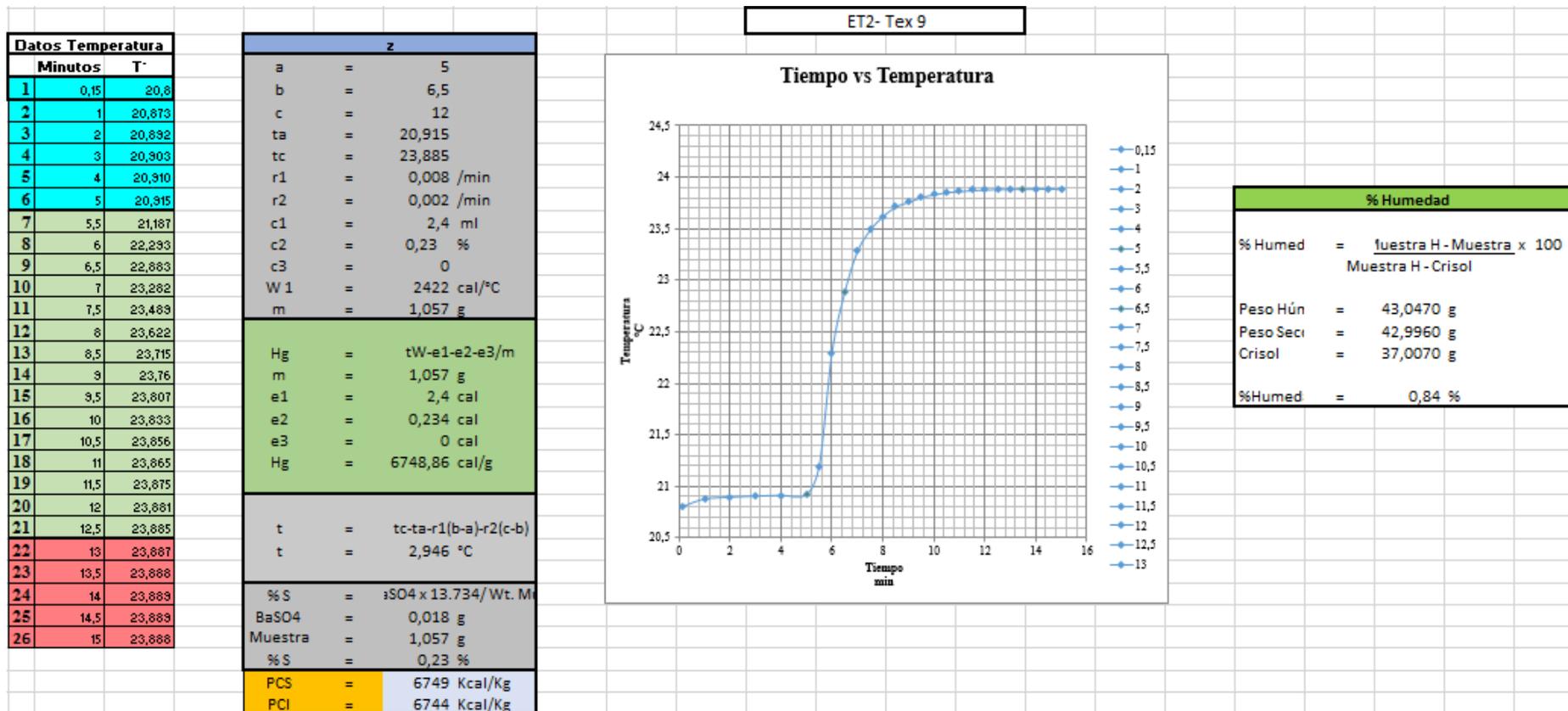


Elaborado por: Otero, 2015

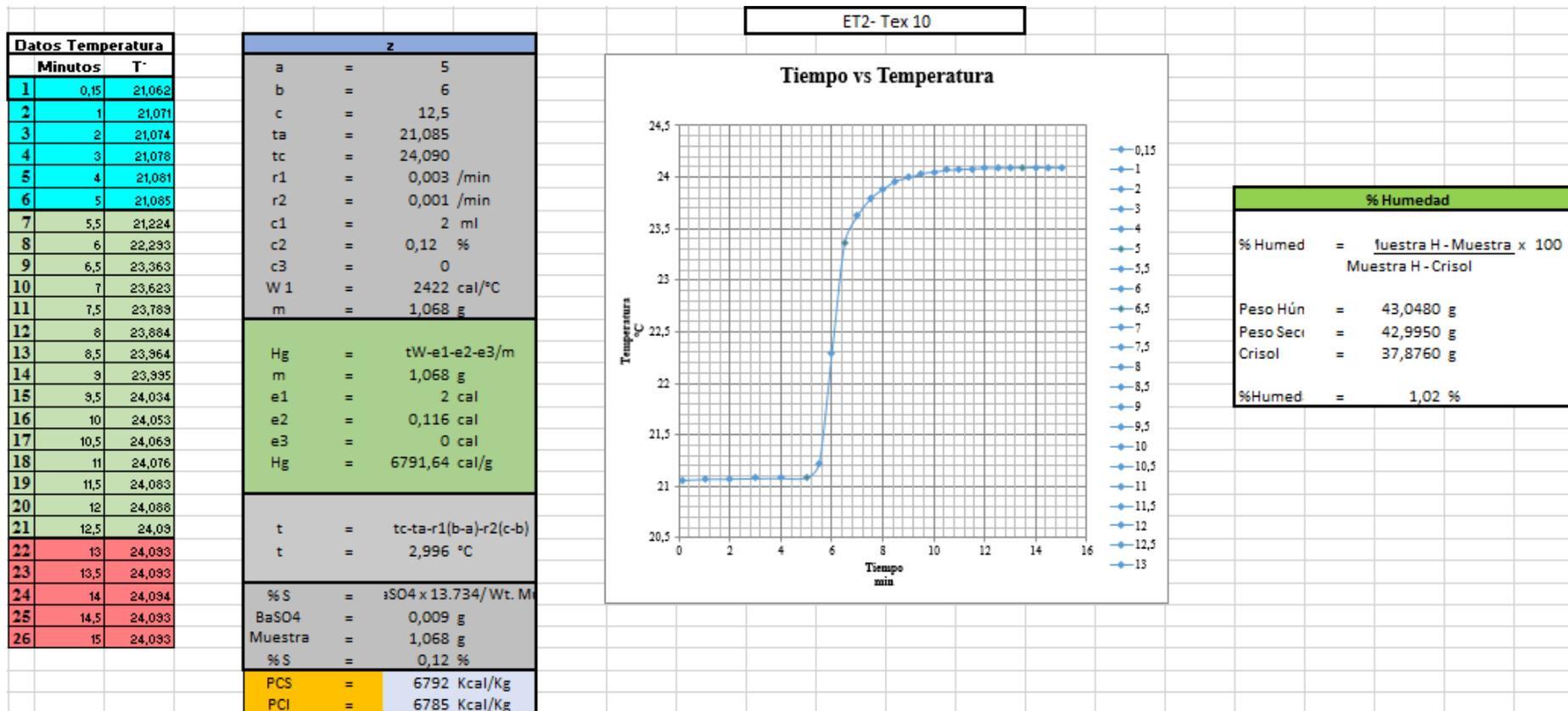
Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



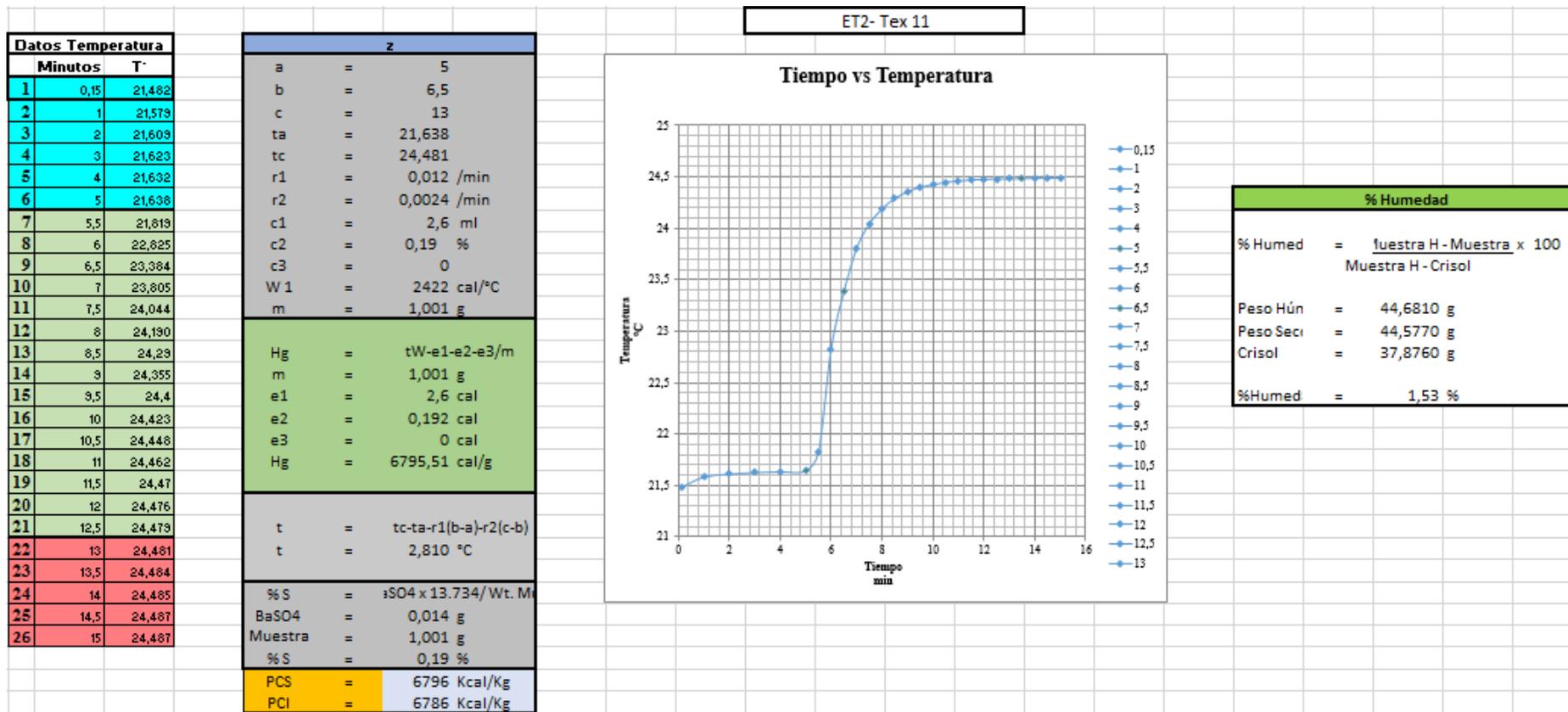
Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

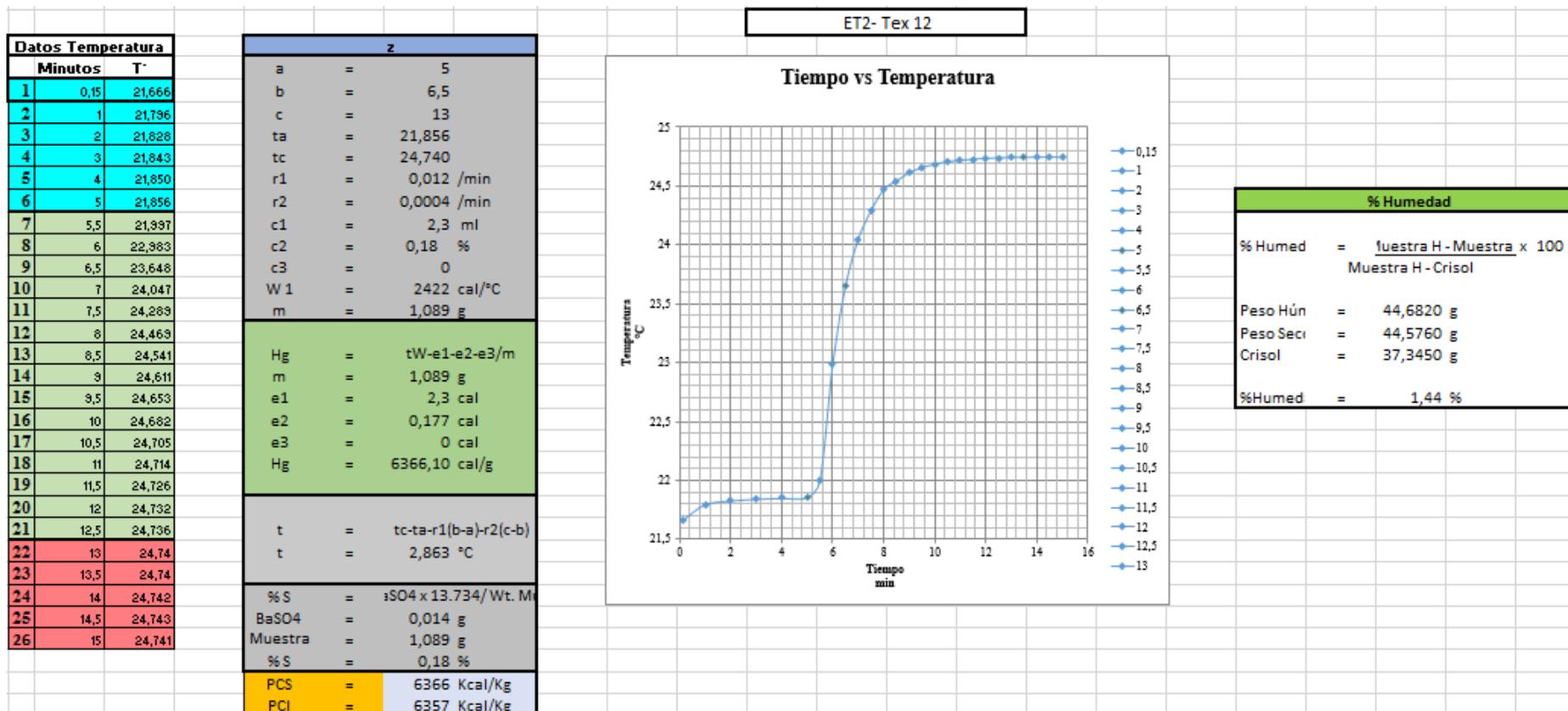


Elaborado por: Otero, 2015



Elaborado por: Otero, 2015

Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: textil, y mixto generados en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2015.



Elaborado por: Otero, 2015