

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVO A PARTIR DE RESIDUOS  
DE LA MADERA**

**Por:**

**WALTER RODOLFO ZENTENO CRUZ**

**Proyecto de grado sometido a consideración de la “UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado  
académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

**Noviembre de 2009**

**TARIJA-BOLIVIA**

V°B°

.....  
Msc. Ing. Ignacio Velásquez  
**DOCENTE GUÍA**

Lic. Luis Alberto Yurquina Flores  
**DECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

Ing. Clovis Gustavo Succi Aguirre  
**VICEDECANO FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
Ing. René Emilio Michel Cortés

.....  
Ing. Juan Carlos Vega

.....  
Ing. Bernardo Echart Limachi

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor.

### **Dedicatorias**

El presente trabajo, va dedicado a mis queridos padres, Ismael y Benita, como asimismo a mis hermanos, por todo el apoyo y cariño que me brindaron, durante el periodo de elaboración de este trabajo.

### **Agradecimientos:**

Un agradecimiento especial a mi docente guía, el Ing. Ignacio Velásquez por toda la colaboración prestada.

También quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Héctor Quiroga y en especial al Ing. Fabricio Campero, por dedicar parte de su valioso tiempo a orientarme y ayudarme de manera desinteresada, de la misma manera agradezco a todo el personal de CBN TARIJA, por las experiencias y momentos compartidos.

Expreso mi agradecimiento a los ingenieros: René Michel, Elizabeth Sánchez, Adalid Aceituno y al Ing. Freddy López, asimismo a todo el personal del CEANID, quienes me brindaron su ayuda y colaboración en los momentos más difíciles de realización de este trabajo.

También quiero agradecer a la señorita Soledad Quispe Castro, por estar a mi lado siempre, apoyándome y motivándome durante la realización de este trabajo.

A mis queridos compañeros y amigos, mi más profundo agradecimiento, en especial a Edwin Cazón, por toda la ayuda prestada.

## RESUMEN

El presente trabajo es el resultado del desarrollo de una investigación, que tiene por objeto, determinar y seleccionar el método más favorable para la obtención de carbón activo, a partir de residuos de la madera, tales como el aserrín y la viruta, siendo éstos un subproducto de la madera que hasta el momento no se le dio un uso correcto, pese a ser materia prima de un producto tan importante y con un elevadísimo valor agregado como es el carbón activo. Este trabajo consta de 5 capítulos, en los cuales se describe todo el proceso de investigación.

El carbón activado como su nombre lo indica, es un carbón que cuenta con una porosidad superior a la de un carbón normal, lo que lo hace un carbón altamente adsorbente de contaminantes, ya sea en fase líquida como en fase gaseosa, por lo cual es llamado también “adsorbente universal”. En la antigüedad ya se conocía el método de adsorción de contaminantes, para lo cual solían usarse diferentes adsorbentes, entre los cuales se encontraba el carbón. Posteriormente se fueron desarrollando nuevas técnicas para darle mayor porosidad al carbón; de esta manera se lo denominó “carbón activado”.

Existen 2 métodos de obtención del carbón activo, la activación física y la activación química, siendo el segundo el seleccionado para el presente trabajo, debido a que no requiere condiciones demasiado exigentes o difíciles de conseguir como en la activación física. La materia prima utilizada, fue la viruta de madera de cedro, ya que, según encuestas realizadas, se determinó como la más utilizada en la región; por lo tanto los mayores volúmenes de residuos son provenientes de la misma.

Una vez obtenida la materia prima se procedió a su tamizado, del cual se escogió la materia retenida en la malla de 1mm. Debido a que se encuentra en una posición intermedia, no es demasiado voluminosa como la de mayor tamaño, ni contiene tierra e impurezas como la de menor tamaño. Se realizó la activación con 4 sustancias químicas diferentes, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, cloruro de calcio y cloruro de zinc, todos al 10 y al 20% en peso. Después de realizar la agitación de la mezcla

precursor-activante se realizó la calcinación de las muestras a dos temperaturas distintas, 400 y 700 °C.

Se hizo el diseño factorial del proceso con el fin de determinar el número total de tratamientos a realizar, ejecutando todas las combinaciones posibles, dando como resultado un total de 48 experimentos, a los cuales se aplicaron los diferentes tratamientos estadísticos, tales como criterios de descartación, análisis de varianza y determinación de diferencias mínimas significativas. Con estas herramientas se determinó que el carbón activo más adsorbente de todos es el que se obtuvo con cloruro de zinc al 20% y a una temperatura de 700 °C.

El análisis de costos del proyecto, se refiere a los costos efectuados desde el primer día de elaboración de este trabajo, los cuales se dividen en: servicios directos, servicios indirectos, materia prima y reactivos químicos, materiales y material de escritorio. La suma de los costos individuales dio como resultado el costo total del proyecto, siendo este la suma de Bs.10908.

Al concluir con la investigación, se determinó que se puede obtener carbón activo haciendo uso de los residuos forestales, y que el precursor utilizado es apto para este fin; que además de obtener estos beneficios, se contribuye a la conservación del medio ambiente.

## **INDICE**

Advertencia .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Resumen .....	iv

## **INTRODUCCIÓN**

	<b>Pág.</b>
Antecedentes .....	1
Justificación.....	3
Objetivo general .....	4
Objetivos específicos .....	4

## **CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO**

1.1.- Generalidades.....	5
1.2.- Clasificación del carbón activo según su forma física.....	7
1.2.1.- El carbón activo granular .....	8
1.2.2.- El carbón activo en polvo.....	8
1.2.3.- El carbón activo peletizado .....	9
1.3.- Aplicaciones del carbón activo .....	9
1.3.1.- Carbón activo procedente de la madera .....	11
1.4.- La materia prima .....	11
1.4.1.- principales especies forestales .....	11
1.4.2.- Descripción y especificaciones de la materia prima .....	11
1.4.2.1.- El cedro.....	11
1.5.- Procesos de obtención de carbón activo .....	14
1.5.1.- Activación física .....	14
1.5.2.- Activación por deshidratación química.....	16
1.6.- Regeneración de carbón usado .....	16
1.7.- Estructura del carbón activo .....	17
1.8.- Importancia de la textura porosa de los carbones activado .....	19
1.9.- Importancia de la química superficial de los carbones activados .....	20

1.10.- Caracterización .....	24
1.11.- Adsorción.....	25
1.11.1.- principios de la adsorción .....	25
1.11.2.- Mecanismos de adsorción .....	25
1.12.- Parámetros de diseño de un adsorbedor.....	26
1.13.- Propiedades y condiciones que afectan la adsorción en carbón activado .....	27
1.14.- Capacidad útil de un carbón.....	28
1.15.- Adsorbatos .....	29
1.16.- Tipos de compuestos orgánicos según su capacidad de adsorción sobre carbón activo .....	30
1.16.1.- Compuestos orgánicos fácilmente adsorbibles.....	30
1.16.2.- Compuestos orgánicos poco adsorbibles.....	30
1.17.- Compuestos inorgánicos .....	31
1.17.1.- Metales y compuestos inorgánicos clasificados por su potencial de adsorción sobre carbón activado.....	31

## **CAPÍTULO II**

### **PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

2.1.- Descripción del proceso de obtención .....	33
2.1.1.- Tamizado de la materia prima.....	34
2.1.1.1.- Zaranda o Tamizador.....	34
2.1.1.2.- Procedimiento.....	34
2.1.2.- Análisis de humedad de la materia prima .....	35
2.1.2.1.- Secador de infrarrojos .....	35
2.1.2.2.- Procedimiento.....	36
2.1.3.- Secado de la materia prima .....	37
2.1.3.1.- Secador de bandejas .....	37
2.1.3.2.- Procedimiento.....	37
2.1.4.- Agitación del precursor con el activante.....	38
2.1.4.1.- Agitador magnético o de barra magnética.....	38
2.1.4.2.- Procedimiento.....	39
2.1.5.- Carbonización .....	40
2.1.5.1.- Mufla eléctrica.....	40
2.1.5.2.- Procedimiento.....	40
2.1.6.- Determinación del rendimiento en peso.....	42
2.1.6.1.- Balanza analítica electrónica.....	42

2.1.6.2.- Procedimiento.....	43
2.2.- Realización de experimentos de adsorción de azul de metileno.....	45
2.2.1.- Preparación de soluciones de azul de metileno.....	45
2.2.2.- Determinación de la longitud de onda requerida .....	46
2.2.3.- Elaboración de la curva patrón de calibración .....	48
2.2.3.1.- Determinación de la ecuación de concentración mediante el programa polymath .....	49
2.2.3.2.- Determinación del coeficiente de correlación.....	50
2.2.4.- Descripción del procedimiento de adsorción .....	52
2.2.5.- Comparación experimental del mejor carbón obtenido, con un carbón industrial.....	55
2.3.- Diagrama de flujo y balance de materia .....	57
2.3.1.- Diagrama de flujo general.....	57
2.3.2. – Balance en el secador .....	58
2.3.2.1.- Balance de materia .....	58
2.3.2.2.- Balance de energía.....	58
2.3.3. – Balance de energía en el agitador.....	59
2.3.4. – Balance en la mufla .....	59
2.3.4.1. – Balance de materia.....	59
2.3.4.2. – Balance de energía.....	60
2.4.- Costo estimado de la producción de carbón activo a escala de laboratorio.....	60
2.5.- Equipos utilizados.....	61
2.6.- Material de laboratorio utilizado.....	62
2.7.- Reactivos.....	62

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

3.1.- Introducción .....	63
3.2.- Diseño factorial.....	63
3.3.- Selección del carbón experimental más adsorbente, mediante el cálculo de la t de Student.....	68
3.4.- Prueba de las diferencias mínimas significativas .....	69

## **CAPÍTULO IV COSTOS**

4.1.- Estimación de costos del proyecto.....	71
4.2.- Estimación de costos de cada proceso según balances realizados.....	73

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.- Conclusiones.....	74
5.2.- Recomendaciones .....	75

## **BIBLIOGRAFÍA**

Libros consultados .....	77
Páginas Web consultadas .....	78
Archivos pdf consultados .....	79

## INDICE DE TABLAS

Tabla I -1.- Usos del carbón activado en el mundo.....	10
Tabla II -1.- Carbón activo obtenido a partir de activación con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	44
Tabla II -2.- Carbón activo obtenido a partir de activación con HCl.....	44
Tabla II -3.- Carbón activo obtenido a partir de activación con CaCl <sub>2</sub> .....	44
Tabla II -4.- Carbón activo obtenido a partir de activación con ZnCl <sub>2</sub> .....	44
Tabla II -5.- Determinación de la longitud de onda requerida (primera lectura) .....	47
Tabla II -6.- Determinación de la longitud de onda requerida (segunda lectura) .....	47
Tabla II -7.- Lecturas de absorbancia para distintas concentraciones de azul de metileno.....	48
Tabla II -8.- Cálculo del coeficiente de correlación realizado en el Excel .....	50
Tabla II -9.- Valores de absorbancia de cada experimento .....	54
Tabla II -10.- Valores de absorbancia de los tres mejores experimentos.....	54
Tabla II – 11.- Detalle de costos de obtención de carbón activo a escala laboratorio, para el análisis experimental optimo efectuado.....	60
Tabla II – 12.- Detalle de costos de obtención de carbón activo a escala laboratorio, para el análisis experimental optimo efectuado, para obtener 1kg de carbón activo .....	61
Tabla III -1.- Primer ensayo .....	64
Tabla III -2.- Primera repetición .....	65
Tabla III -3.- Segunda repetición .....	66
Tabla III -4.- Datos finales promedio.....	68
Tabla III -5.- Determinación del mejor carbón experimental .....	69
Tabla IV – 1.- Detalle de servicios directos .....	71
Tabla IV– 2.- Detalle de servicios indirectos.....	71
Tabla IV – 3.- Detalle de materia prima y reactivos químicos .....	72
Tabla IV – 4.- Detalle de materiales.....	72
Tabla IV – 5.- Detalle de material de escritorio.....	72
Tabla IV – 6.- Costo total.....	73
Tabla IV – 7.- Tabla de balances con costos.....	73

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.- Diferentes formas de carbón activo .....	8
Figura 1.2.- Diagrama de la activación física .....	15
Figura 1.3.- Diagrama de la activación química .....	16
Figura 1.4.- Representación esquemática de la estructura de un carbón activo.....	18
Figura 1.5.- Gránulo de carbón activo .....	18
Figura 1-6.- Clasificación de los poros según su tamaño (d = dimensión característica del poro) .....	20
Figura 1-7.- Representación esquemática de los principales grupos superficiales que pueden encontrarse en un carbón .....	21
Figura 1.8.- Representación esquemática de grupos superficiales dentro de un poro, y de los puentes de hidrógeno que forma las moléculas de H <sub>2</sub> O con ellos y entre sí ....	22
Figura 1.9.- Representación esquemática del carácter ácido de algunos grupos oxigenados (carboxilos, hidroxilos y lactonas) y del carácter básico de los electrones deslocalizados del plano basal y de grupos oxigenados (tipo pirona, tipo quinona y tipo cromeno) .....	23
Figura 2-1.- Curva de calibración para el azul de metileno .....	51
Figura 2-2.- Diagrama de flujo del proceso de obtención de carbón activado .....	57
Figura 2-3.- Diagrama de flujo del proceso de secado.....	58

## **INDICE DE CUADROS**

Cuadro I -1.- Características del carbón activo según el precursor utilizado.....	7
Cuadro I-2.- Reacciones químicas producidas durante la activación física.....	15
Cuadro I -3.- Adsorción potencial de compuestos inorgánicos .....	32

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 2-1.- Tamiz.....	34
Foto 2-2.- Materia prima tamizada.....	35
Foto 2-3.- Secador de infrarrojos .....	35
Foto 2-4.- Análisis de humedad .....	36
Foto 2-5.- Secador de bandejas .....	37
Foto 2-6.- Proceso de secado .....	38
Foto 2-7.- Agitador magnético.....	38
Foto 2-8.- Proceso de agitación.....	39
Foto 2-9.- Mufla eléctrica .....	40
Foto 2-10.- Carbón activo obtenido .....	41
Foto 2-11.- Desecador .....	41
Foto 2-12.- Balanza analítica .....	42
Foto 2-13.- Muestra de carbón activo .....	43
Foto 2-14.- Azul de metileno sólido .....	45
Foto 2-15.- Solución de azul de metileno 100mg/l.....	45
Foto 2-16.- Soluciones de concentración 1, 2, 4, 6, 8 y 10mg/l.....	46
Foto 2-17.- Gráfico absorbancia-longitud de onda, mostrado en la pantalla del espectrofotómetro.....	46
Foto 2-18.- Espectrofotómetro utilizado en la elaboración de la curva patrón de calibración.....	48
Foto 2-19.- introducción de datos al Polymath .....	49
Foto 2-20.- curva de calibración y ecuación de concentración .....	49
Foto 2-21.- Pesado del carbón.....	52
Foto 2-22.- Agitación de los tubos.....	52
Foto 2-23.- Centrifugado de los tubos .....	53
Foto 2-24.- Lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro .....	53
Foto 2-25.- Soluciones tratadas con carbón activo experimental .....	55
Foto 2-26.- carbón experimental vs. Carbón industrial.....	56
Foto 2-27.- Proceso de agitación.....	56
Foto 2-28.- Soluciones de azul de metileno decoloradas durante la comparación .....	56

## **INDICE DE ANEXOS**

- ANEXO 1** CÁLCULO DE LOS PORCENTAJES DE SOLUTO ADSORBIDO
- ANEXO 2** TABLA A-18 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA
- ANEXO 3** PRUEBA DE LAS DIFERENCIAS MÍNIMAS SIGNIFICATIVAS o  
TEST DE SIGNIFICACIÓN
- ANEXO 4** TABLA A-10 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA
- ANEXO 5** TABLA A-11 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA

# **INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO I**  
**MARCO TEÓRICO**

**CAPÍTULO II**  
**PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

**CAPÍTULO III**  
**DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS**  
**ESTADÍSTICO**

**CAPÍTULO IV**  
**COSTOS**

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

# **CÁLCULO DE LOS PORCENTAJES DE SOLUTO ADSORBIDO**

## **ANEXO 2**

### **TABLA A-18 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA**

## **ANEXO 3**

# **PRUEBA DE LAS DIFERENCIAS MÍNIMAS SIGNIFICATIVAS o TEST DE SIGNIFICACIÓN**

## **ANEXO 4**

### **TABLA A-10 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA**

## **ANEXO 5**

### **TABLA A-11 DEL MANUAL DE ESTADÍSTICA**