



PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE NATURAL ESPARTO FIBER (*JUNCUS RAMBOI* SUBSP. *COLOMBIANUS*) AS AN ALTERNATIVE REINFORCEMENT IN COMPOSITE MATERIALS

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA FIBRA NATURAL DE ESPARTO (*JUNCUS RAMBOI* SUBSP. *COLOMBIANUS*) COMO ALTERNATIVA DE REFUERZO EN MATERIALES COMPUESTOS

Sergio Andrés Gómez-Suarez ^a William Javier Mora-Espinosa ^b Bladimir Ramón-Valencia ^b

^a *Facultad de Ingeniería Mecánica Pontificia Bolivariana, Colombia.*

^b *Facultad de Ingenierías y Arquitecturas, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia*

Abstract

This research was focused on the study of the mechanical, thermal and morphological properties of the Colombian natural fiber *Juncus ramboi* subsp. *Colombianus* or commonly called Esparto, employed in the Department of Boyacá (Colombia), for the manufacture of handicrafts. Therefore, traction behavior (ASTM D3822), thermal stability by Thermogravimetry (TGA) and morphology with scanning electron microscopy (SEM) were determined. The results of the mechanical properties yielded a maximum effort of 159 MPa. The thermal conditions allowed to find humidity values of 8% with a stability to the degradation against the heat of 210 °C. On the other hand, in the microstructure was observed a solid cell wall with large lumen and concentrated in the central part of the fiber. Finally, the results show that esparto fiber is a viable alternative for use as reinforcement in composite materials that are subject to moderate stress loads.

Keywords; reinforcement; natural fiber, mechanical properties, morphology, thermal stability

Resumen

La presente investigación está orientada en el estudio de las propiedades mecánicas, térmicas y morfológicas de la fibra natural colombiana *Juncus ramboi* subsp. *Colombianus* o comúnmente llamada esparto, empleada en el departamento de Boyacá (Colombia), para la fabricación de artesanías. Por consiguiente, se determinó el comportamiento a tracción (ASTM D3822), la estabilidad térmica por termogravimetría (TGA) y la morfología con microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados de las propiedades mecánicas arrojaron un esfuerzo máximo de 159 MPa. Las condiciones térmicas permitieron encontrar valores de humedad del 8% con una estabilidad a la degradación frente al calor del 210°C. Por otro lado, en la microestructura se observó una pared celular maciza con lumen grande y concentrado en la parte central de la fibra. Finalmente, los resultados muestran que la fibra de esparto es una alternativa viable para usarse como refuerzo en materiales compuestos que estén sometidos a cargas de tensión moderadas.

Palabras clave; refuerzo; fibra natural, propiedades mecánicas, morfología, estabilidad térmica.

1. Introducción

Los materiales compuestos (*composites*) constan de dos constituyentes básicos, el primero es la matriz que confiere al material su bajo peso, protege el relleno o refuerzo y transfiere las



tensiones externas, suelen clasificarse en función de su naturaleza en metálica, cerámica y polimérica. El segundo lo constituye el refuerzo, generalmente son fibras, que pueden ser de tipo sintético o natural y son las encargadas de soportar los esfuerzos que se aplican, y permiten obtener propiedades mecánicas únicas (Mata 2004 y Lucena et al., 2009). Esta combinación introduce nuevos materiales con excelentes propiedades a tracción, flexión, cizalladura y compresión, con alta resistencia al impacto, buena estabilidad dimensional, buen coeficiente de expansión térmica y baja contracción por moldeo. (Almudena, 2014).

La mezcla de refuerzo elaborado con fibras naturales y matrices poliméricas se conoce como *Natural Fibres-Reinforced Polymers (NFRP)* (Shekeil et al., 2014) y su principal impulso ha sido la conservación del medio ambiente, porque permiten crear componentes estructurales biodegradables a partir de recursos renovables (Dittenber y GangaRao 2012), que sobresalen por su rigidez (Sherman 1999), buena amortiguación de vibraciones (Sydenstricker et al., 2003), flexibilidad (Manikandan et al.1996), y módulo de elasticidad (Eichhorn et al., 2001).

Investigaciones llevadas a cabo con fibras naturales como: el lino, el algodón, el cáñamo, el yute, el sisal, el kenaf, la piña, el ramio, el bambú y el plátano; encontraron componentes cristalinos como la celulosa, además de otras estructuras como la lignina y hemicelulosa (Monteiro et al., 2010). Estas configuraciones son responsables de las excelentes propiedades mecánicas de las fibras naturales y han logrado posicionarlas como refuerzo en materiales biocompuestos. Principalmente, las microfibrillas conformadas por celulosa y el ángulo entre ellas, se relacionan con la resistencia mecánica de la fibra (Saravanakumar et al., 2013), pero el contenido de la misma, depende de cada fibra (Francucci y Rodriguez 2014).

Las propiedades térmicas permiten determinar la presencia de humedad en las fibras naturales (carácter hidrófilo), esto afecta su uso como refuerzo, debido al comportamiento hidrófobo de las resinas poliméricas y, en consecuencia, la unión interfacial se ve disminuida, ocasionando una reducción en las propiedades mecánicas del compuesto (Girisha and Srinivas 2012).

La morfología permite identificar la sección transversal de las fibras, la estructura varía de acuerdo con el número de células, el tamaño de las paredes celulares y lumen (agujero para transporte de humedad y nutrientes) (Thygesen, 2006). Esta área influye directamente en las características y comportamientos mecánicos (Alves et al., 2013).

La presente investigación se enmarca en la caracterización fisicoquímica de la fibra natural de *Juncus ramboi subsp. Colombianus* o comúnmente llamada esparto. Se realizaron pruebas mecánicas de tracción uniaxial. Igualmente, se analizó el comportamiento térmico de la fibra, al mismo tiempo que se estudió la microestructura, con el propósito de examinar los componentes primarios en los que se encuentran constituida esta fibra (Mora et al., 2013). El objetivo final del presente trabajo es analizar las posibilidades de la fibra de esparto, como alternativa de uso para el refuerzo de materiales biocompuestos.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

La fibra de esparto (*Juncus ramboi subsp. Colombianus*), es una fibra que se extrae de una hierba que forma "matojos" de hasta 1.60 mts de alto. Tiene pequeñas hojas enrolladas a la base de la planta, flores diminutas y pelos blancos. Es una especie originaria de Brasil y



Colombia, que crece en páramos por encima de los 3.200 msnm, y en algunos sitios con alturas de 2600 msnm. En Colombia, se encuentra principalmente en la Cordillera Oriental, principalmente en el departamento de Boyacá, y en lugares, como Bogotá, Zipaquirá y Guasca. Crece en donde hay abundante agua y masas de musgo (Linares et al. 2008).



Figura 1. Planta de esparto (*Juncus ramboi*) (Linares et al. 2008)

A partir de una tradición con orígenes indígenas, los artesanos, principalmente de Ráquira y Tinjacá, fabrican canastos, cazuelas, individuales, sonajeros, esteras, entre otros objetos que son comercializados en los mercados de los municipios cercanos, a turistas y locales, y con intermediarios que distribuyen los productos a distintas ciudades del país (Linares et al. 2008).

2.2 Métodos.

2.2.1 Caracterización mecánica de la fibra.

La caracterización mecánica se llevó a cabo mediante el ensayo de tracción con la norma ASTM D3822/D3822M - 14, (*Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers*), tomando 20 muestras diversos manojos de esparto. Las condiciones iniciales para los ensayos fueron temperatura ambiente 20 °C, humedad 55%, a una velocidad de deformación de 1mm/min con una longitud calibrada de 20mm. Las pruebas se llevaron a cabo en una máquina universal de ensayos *Shimatzu* con capacidad de 600kNI, usando un accesorio para tracción en fibras.

2.2.2 Caracterización térmica de la fibra

La estabilidad térmica de la fibra se evaluó mediante el analizador termogravimétrico (TGA) *SDT Q600 TA Instrumens*, a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, hasta alcanzar los 600°C, en una atmosfera inerte controlada de nitrógeno. Las muestras fueron trituradas hasta obtener un peso entre 5 y 10 mg y colocadas en capsulas de alúmina estables a altas temperaturas.

2.2.3. Morfología de la fibra.

La microestructura de la fibra fue observada través de un microscopio electrónico de barrido (SEM), JEOL modelo JSM 6490-LV con 3.0 nm de resolución, y empleando una tensión de 30KV con aislamiento en alto vacío. Las muestras fueron cubiertas con una delgada capa de oro para permitir la conductividad de estas.



3. Resultados y análisis de resultados.

3.1 Pruebas de tracción de la fibra

Se realizaron 20 réplicas por fibra natural de esparto, se obtienen los resultados promedios de $158,91 \pm 77,0$ MPa para la resistencia máxima a la tracción, $3,12 \pm 1,3$ GPa para el módulo de elasticidad y $17,07 \pm 5,7$ % para la deformación máxima, todos obtenidos a partir del diagrama esfuerzo-deformación.

En el diagrama de la figura 2, se observa un comportamiento dúctil para las fibras, representada por una zona elástica (lineal) y una zona plástica (no lineal). La zona elástica está asociada a la deformación de la pared celular (microfibrillas de celulosa) y la plástica se debe a la delaminación de la celulosa y la orientación de la fase amorfa (lignina, pectina y hemicelulosa) (Fiore et al., 2014).



Figura 2. Diagrama esfuerzo deformación de la fibra de esparto.

El comparativo de los valores de esfuerzo máximo obtenido con el de otras fibras naturales investigadas [18-21] se presenta a continuación en la figura 3.

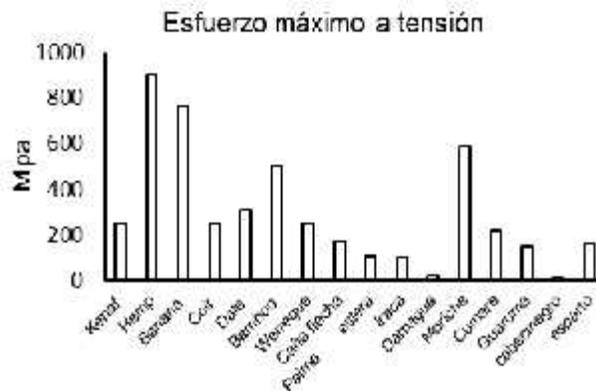


Figura 3. Comportamiento a tracción de diversas fibras naturales.

Se observa que el comportamiento de la fibra de esparto es cercano a la fibra de kenaf, coco, werregue, caña flecha y guaruma. Sin embargo, este valor de resistencia está por debajo de otras fibras como el cáñamo, bambú, banana y moriche.



3.1 Análisis termogravimétrico (TGA) fibra.

En el termograma de la figura 4, se evidencia un primer cambio de pendiente correspondiente a la pérdida de humedad y extractivos altamente volátiles, con 8% de pérdida de peso (Mehmet et al., 2014). Después se da inicio a la degradación de la hemicelulosa y la degradación de la alfa celulosa a partir de los 210°C con una pérdida de peso de 57,36%. Finalmente, la degradación final de la lignina y la degradación oxidativa del residuo carbonizado de la fibra presenta una pérdida de 12,7%, quedando un residuo de cenizas correspondiente al 21.82% del peso inicial. (Yusriah et al., 2014) y (De Rosa et al., 2010).

La temperatura de inicio de degradación de la fibra es de 210°C, lo que permite procesos de elaboración de materiales compuestos tanto en matrices termoplásticas como en matrices termoestables.

En general, los resultados obtenidos revelan aspectos importantes, como el carácter hidrofílico de la fibra, con un porcentaje significativo de 8% de humedad retenida, este fenómeno sugiere que las fibras deben pasar por un tratamiento químico o térmico, con el propósito de mejorar la adherencia y que sean óptimas para el uso como refuerzo en matrices poliméricas. En términos de la estabilidad térmica, la temperatura de descomposición se inicia a los 210°C, es muy similar a otras fibras reportadas (Bledzki et al., 2015) y (Saravanakumar et al., 2013).

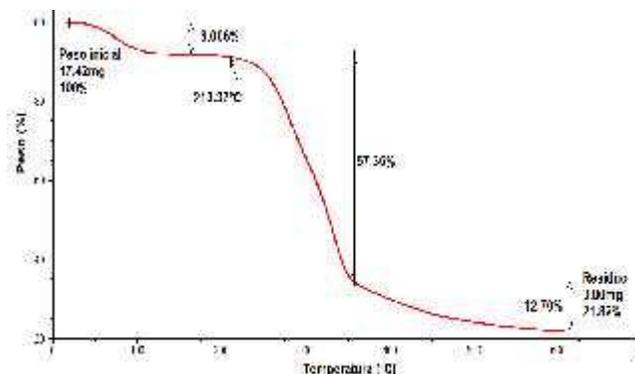


Figura 4. Termograma TG de la fibra de esparto.

Este factor determina las condiciones de la temperatura del proceso de elaboración de materiales compuestos con matrices poliméricas, como consecuencia, solo se podrán utilizar termoplásticos que no superen la temperatura de degradación de las fibras.

Para esta fibra es recomendable realizar tratamientos superficiales que reduzcan o eliminen el porcentaje de humedad y mejoren la adhesión al utilizarse con matrices poliméricas.

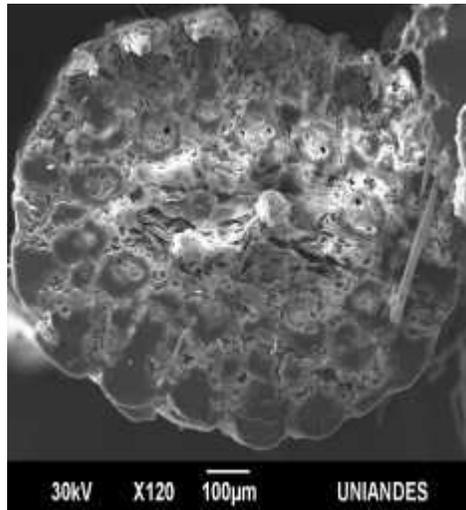
3.2 Microscopia electrónica de barrido (SEM) fibra.

En la imagen 1, se distinguen diversos tamaños de lumen en la parte central de entre 10 y 20 μm , la pared celular gruesa en la parte exterior con dimensiones entre 20 y 40 μm , esto indica que la fibra se vuelve más fuerte a medida que se acerca al perímetro. Se evidencian zonas compactas con células sin lumen y una fuerte unión entre las paredes, lo que permite obtener una mayor área de distribución para el esfuerzo.



El estudio de la microscopía electrónica de barrido es muy importante para el análisis de la estructura interna, con lo cual permite de cierta manera, explicar los valores obtenidos en el comportamiento mecánico de la fibra de esparto. Cabe mencionar la relación entre las paredes celulares de las fibras y el lumen de estas.

a)



b)

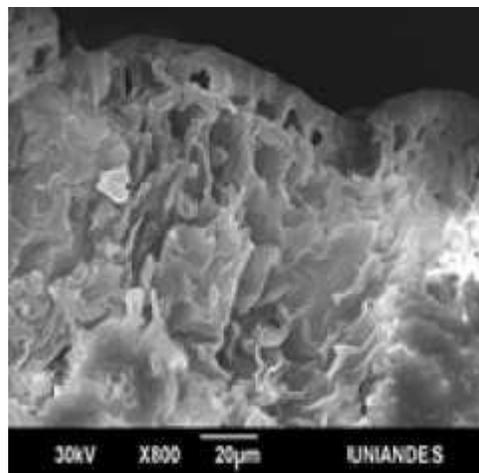


Imagen 1. Fibra de esparto con aumentos a) X120 b) X800.

Las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), presentan características morfológicas similares entre la fibra de esparto y otras fibras investigadas como yute y piassava (Alves et al., 2013), sisal (Alves et al., 2013), okra (DeRosa et al., 2011), melcocha (Sarikanat et al., 2014), fibra cabecinegro (Porras et al., 2016), alcachofa (Fiore & Di Bella, 2011) y fibra de caña de azúcar (Hossain et al., 2014).

La resistencia mecánica del esparto está relacionada con la presencia de paredes celulares gruesas y zonas con ausencia de lumen, sin embargo, la alineación de sus microfibrillas en la



dirección de la carga se presume que no es la adecuada debido a los valores de esfuerzo moderados que se obtuvieron.

Por lo tanto, el comportamiento de esta fibra puede estar influenciado por otros factores como el carácter hidrófilo, así como las condiciones del terreno para su crecimiento.

4 Conclusiones

El análisis térmico utilizando termogravimetría, presentó aspectos importantes relacionados con la estabilidad térmica de las fibras naturales, evidenciando un límite máximo para la elaboración de un material compuesto y las posibles matrices poliméricas a utilizar.

El TGA confirmó el carácter hidrofílico de la fibra natural, por consiguiente, se sugiere realizar tratamientos superficiales para mejorar la interface con la matriz polimérica.

Las micrografías revelaron un área transversal con presencia de grandes zonas con pared celular maciza y de buen tamaño, sin embargo, los resultados de las pruebas mecánicas revelaron esfuerzos de tensión relativamente bajos para este tipo de estructura.

Los resultados muestran que la fibra de esparto es una alternativa viable para usarse como refuerzo en materiales compuestos que estén sometidos a cargas de tensión moderadas.

Referencias Bibliográficas

- Mata C.F. 2004. Mata Cabrera Francisco, "Utilización de composites de matriz polimerica en la fabricacion de automoviles," *Tecnica industrial*, no. 254, pp. 43 – 47.
- Lucena et al., 2009. Lucena María P. Suarez Alejandro. Zamudio Ivonne., "Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambu para aplicaciones aeronauticas," *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. S1, no. 3, pp. 1107 -1114.
- Almudena, O.M. 2014. Ochoa Mendoza Almudena., *Reciclado mecanico de materiales compuestos con fibras de celulosa*, Madrid.España: Publicia.
- Shekeil et al., 2014. El-Shekeil Y.A. Sapuan S.M. Algrafi M.W. *Materials & Design*, 64, pp. 330-333.
- Dittenber David B. GangaRao Hota V.S. 2012, "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure," *Composites: Part A.*, pp. 2-11.
- Sherman LM 1999, "Natural fibers: the new fashion in automotive plastics.," *Plast Technol*, p. 62–8.
- Sydenstricker et al., 2003. Sydenstricker TH. Mochnaz S. Amico SC, "Pull-out and other evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites.," *Polym Test*, p. 375–80.
- Manikandan et al., 1996. Manikandan KC. Diwan SM. Thomas S, "Tensile properties of short sisal fiber reinforced polystyrene composites.," *J Appl Poly Sci*, p. 1483–97.
- Eichhorn et al., 2001. Eichhorn SJ. Baillie CA. Zafeiropoulos N. Mwaikambo LY. Ansell MP. Dufresne A, "Current international research into cellulosic fibres and composites," *J Mater Sci*, p. 2107–31.
- Monteiro et al., 2012. Monteiro, Calado, Rodriguez and Margem., "Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites—An overview," *Materials Science & Engineering A557*, p. 17–28.



- Saravanakumar et al., 2013. Saravanakumar S.S. Kumaravel A. Nagarajan T. Sudhakar P. Baskaran R., "Characterization of a novel natural cellulosic fiber from Prosopis juliflora bark," *Carbohydrate Polymers* 92, p. 1928–1933.
- G. Francucci and E. Rodriguez 2014., "Processing of Plant Fiber Composites by Liquid Molding Techniques: An Overview.," *Polymer Composites*, DOI 10.1002/pc.
- Girisha and Srinivas 2012. "Sisal/coconut coir natural fibers-epoxy composites: water absorption and mechanical properties.," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, 166–170., p. 166–170.
- Thygesen, (2006). *Properties of hemp fibre polymer composites- An optimisation of fibre properties using novel defibration methods and fibre characterisation.*, Denmark: Royal Veterinary and Agricultural University.
- Alves et al., 2013. Alves, Castro, Martins, Silva and Toledo, "The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers," *Journal of Materials Research and Technology*, p. 149–157.
- Mora E., William J., Ramón V., Bladimir A., Ramon V., Fabuer. (2013). Desarrollo de materiales biocompuestos reforzados con fibras naturales colombianas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*. ISSN 1900-9178, 4 (2). pp: 1 – 7.
- Linares et al. 2008, "Fibras vegetales utilizadas en artesanías en Colombia.," *Artesanías de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia.*, Bogota D.C.
- Fiore et al., 2014. Fiore, Scalici & Valenza, "Characterization of a new natural fiber from Arundo donax L. as potential reinforcement of polymer composites.," *Carbohydrate Polymers* 106, p. 77–83.
- Sanjay et al., 2018. M. Sanjay, P. Madhu, M. Jawaid, P. Sentharamaikkannan and S. Senthil, "Characterization and properties of natural fiber polymer composites:A comprehensive review.," *Journal of Cleaner Production* 172,, pp. 566-581.
- W. Mora and B. Ramón, 2017. "Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de biocompuestos.," *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 41(161),, pp. 479-489.
- W. Mora and B. Ramón, 2017. "Biocompuesto de fibra natural de palma cumare (*Astrocaryum Chambira*) y resina bioepoxy, aplicaciones industriales.," *Revista de la Asociación Española de materiales compuestos.*, pp. 28-34., 2017.
- W. Mora, 2017. *Materiales biocompuestos reforzados con fibras naturales colombianas y matriz bioepoxy para aplicaciones en la industria automotriz.*, Pamplona. Colombia: Universidad de Pamplona. Tesis maestría.
- Mehmet et al., 2014. S. Mehmet, S. Yoldas, S. Kutlay and D. Cenk, "Determination of properties of *Althaea officinalis* L. (Marshmallow) fibres as a potential plant fibre in polymeric composite materials," *Composites: Part B* 57, p. 180–186.
- Yusriah el al., 2014. Yusriah L. Sapuan S.M. Zainudin E.S. Mariatti M., "Characterization of physical, mechanical, thermal and morphological properties of agro-waste betel nut (*Areca catechu*) husk fibre," *Journal of Cleaner Production* 72, pp. 174-180.
- S. Indran & R. Edwin Raj, 2015. "Characterization of new natural cellulosic fiber from *Cissus quadrangularis* stem.," *Carbohydrate Polymers* 117, p. 392–399.
- De Rosa et al., 2010. De Rosa I. M. Kenny J. M. Puglia D. Santuil C. & Sarasini F, "Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites.," *Composites*



Science and Technology, 70, p. 116–122.

- Bledzki et al., 2015. A.K. Bledzki. P. Franciszczak. Z. Osmanb. M. Elbadawi., "Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers," *Industrial Crops and Products* 70, p. 91–99.
- Alves et al., 2013. Alves Fidelis Maria Ernestina. Castro Pereira Thatiana Vitorino. Martins Gomes Otávio da Fonseca. Silva Flávio de Andrade. Toledo Filho Romildo Dias., "The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers," *j mater res technol.*, p. 149–157.
- DeRosa et al., 2011. DeRosa, Kenny, Puglia, Santulli and Sarasini, "Effect of chemical treatments on the mechanical and thermal behaviour of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres," *Composites Science and Technology* 71, p. 246–254.
- Sarikanat et al., 2014. Sarikanat Mehmet. Seki Yoldas. Sever Kutlay & DurmuskahyaCenk, "Determination of properties of *Althaea officinalis* L. (Marshmallow) fibres as a potential plant fibre in polymeric composite materials," *Composites: Part B* 57, p. 180–186.
- Porras et al., 2016. Porras A. Maranon A. & Ashcroft I.A, "Thermo-mechanical characterization of *Manicaria Saccifera* natural fabric reinforced poly-lactic acid composite lamina," *Composites: Part A* 81, p. 105–110.