

Full-Band OMT turnstile en tecnología de guía de onda de altura reducida para aplicaciones satélite

A. Tribak⁽¹⁾⁽²⁾, A. Mediavilla⁽¹⁾, N. Fernández⁽¹⁾, M. Boussouis⁽²⁾, M. Chaibi⁽¹⁾⁽²⁾

tribak_ma@yahoo.fr, media@dicom.unican.es, m.boussouis@uae.ma

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Avda Los Castros, s/n – 39005 Santander – ESPAÑA.

⁽²⁾ Dpto. de Física. Facultad de Ciencias. Universidad Abdel Malek Essaadi BP-2121, Tetuán-Marruecos.

Abstract- An orthomode transducer with a circular waveguide input and two rectangular waveguide outputs is described. The design utilizes a reduced height turnstile and two identical reduced height E-plane power combiners. A Ku band version of this device has been constructed and tested. The inputs and outputs return losses were less than -30dB, the isolation between the two rectangular outputs is > 60dB and the transmission loss was 0.1dB. Moreover a yield analysis has been done for various tolerances assuring a precision of $\pm 0.05\text{mm}$ that indicate a high stability of the possible errors of the values of the designing variables.

I. INTRODUCCIÓN

Recientemente, los componentes en tecnología de guía de onda en polarización dual que funcionan con dos señales ortogonales polarizadas lineal o circularmente se desarrollan intensivamente para ampliar la capacidad del satélite y de los sistemas de comunicación terrestres. Uno de los componentes dominantes para las antenas en polarización dual es el OMT. Un OMT es el componente que separa dos polarizaciones ortogonales que vienen de una antena con dos puertas (una para cada polarización). Recíprocamente, el OMT es el dispositivo que toma dos señales independientes procedentes de dos puertos, TX y RX respectivamente, y desembocan en un puerto común, dando lugar a una polarización cruzada que será transmitida por una antena de banda dual. Diversos diseños de OMT en tecnología de guía de onda basados en la unión Bøifot [1] han demostrado un buen comportamiento en las bandas milimétricas. El dispositivo descrito por Wollack y Grammer [2] en banda de frecuencia 211-275GHz utiliza un septum fino, 0.036mm de espesor, y dos postes capacitivos de adaptación de 0.061mm de diámetro en los dos brazos laterales. El pequeño diámetro de los pins y la complejidad de montarlos físicamente plantea un desafío significativo para una posterior producción rentable del dispositivo. Otros diseños con un septum más grueso han sido propuestos; aquí los postes se eliminan en favor de pasos capacitivos cortos [3] o de transiciones multi-step estándares en las ramas laterales [4]. Aunque en estos casos la realización mecánica de los bloques y de su ensamblaje se simplifica, la alineación del septum dentro de la guía de onda todavía sigue siendo crítica.

Una ventaja de la configuración de la unión turnstile es que ni los postes, ni el septum son necesarios para conseguir la separación de la polarización con buenas pérdidas de retorno sobre un ancho de banda importante. Alternativas de estructuras OMT basadas en unión turnstile se ha descrito [5], [6] en la literatura con elementos cuadrados o cilíndricos localizados en la base de la unión. A pesar del ancho de banda alcanzado y la simplicidad de fabricación, su principal desventaja es el uso de combinadores formados por transiciones multi-step en las vías entradas, lo que afecta al análisis de la sensibilidad y deteriora el funcionamiento del OMT limitando

las pérdidas de retorno para ambos diseños a los 22dB y -23dB respectivamente. Estos dispositivos son habitualmente diseñados para sistemas de comunicación por satélite, donde se utiliza la doble polarización para incrementar la capacidad del enlace. Otras aplicaciones extremadamente interesantes se encuentran en los receptores de radioastronomía [7], [8].

En este papel, presentamos una alternativa de un OMT basado en una unión turnstile. La unión turnstile [9] es una red de microondas de seis terminales eléctricos y cinco físicos: cuatro puertos rectangulares coplanares en guía de onda y un puerto circular, perpendicular a los brazos rectangulares, que excita dos modos ortogonales TE₁₁ (vectores A y B) tal como se describe en Fig.1. Es posible conseguir una buena adaptación si determinamos cuidadosamente la altura y el diámetro de las secciones cilíndricas. Naturalmente siempre podemos reducir el número de las secciones si la aplicación necesita una banda específica más estrecha. Recientemente se han descrito [10] las propiedades de escalado de esta estructura para bandas muy anchas. El diseño se diferencia de los anteriores en el aprovechamiento de alturas reducidas en las guías de onda rectangulares de la unión así como en el uso de combinadores y codos de 90° con altura reducida para conseguir anchos de banda > 40%. En lo sucesivo se presentan los detalles de diseño y las medidas realizadas sobre un prototipo industrializable en banda-Ku.

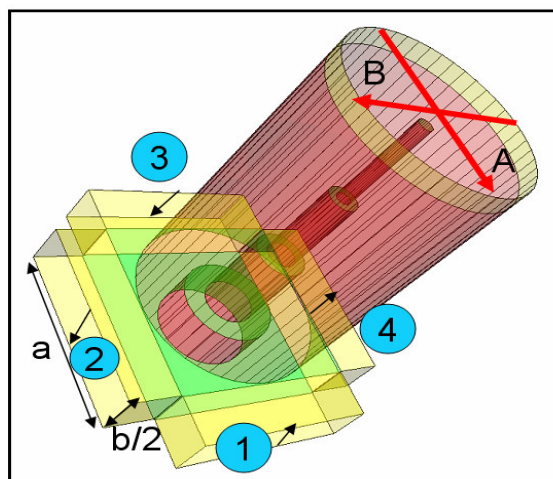


Fig.1. Unión turnstile con 4 secciones

La Fig.2 muestra los resultados de simulación para las pérdidas de retorno de los dos modos ortogonales TE₁₁ en el terminal de la guía de onda circular junto con el coeficiente de transmisión de cada modo circular a las dos guías de onda rectangulares opuestas. En el gráfico, las líneas verticales denotan los bordes nominales de

la banda de trabajo: 10 a 15 GHz. La adaptación de ambos modos circulares está por debajo de los 30dB y la transmisión es exactamente $-3\text{dB} \pm 0.05$ en el ancho de banda de interés.

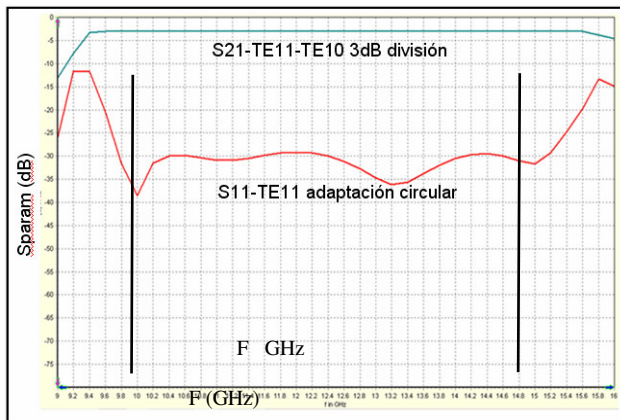


Fig.2. Parámetros S de la unión Turnstile

II. DISCUSIÓN DEL DISEÑO

Básicamente, esta estructura OMT consiste en una unión turnstile y dos combinadores ancha banda idénticos de potencia plano-E. La fig. 1 muestra una vista interna de la unión turnstile. Para el modelo en la banda-Ku, la guía de onda circular tiene diámetro $D=19\text{mm}$ lo que es suficiente para propagar los modos ortogonales y evitar por simetría la aparición de modos no deseados. De hecho, los dos modos fundamentales (señalados como A y B) pueden propagarse en esta guía circular como estados de polarización lineares ortogonales independientes cuando la frecuencia está por encima del valor de la frecuencia de corte (es decir, por encima de 9.24 GHz). El modo A se divide simétricamente entre las salidas rectangulares de altura reducida 1 y 3, y nada se transmite a los puertos 2 y 4. De igual forma, B se reparte entre los puertos 2 y 4, anulándose en los puertos 1 y 3. Además de los modos fundamentales, otros modos de orden superior se pueden propagar en la guía de onda circular en la banda de frecuencia de interés 10-15GHz. Éstos modos son el modo TM_{01} con ($f_c = 12.07$ GHz) y el modo TE_{21} con ($f_c = 15.33\text{GHz}$). En teoría, estos modos se pueden excitar debido a la discontinuidad creada en las uniones. Sin embargo, su excitación se puede evitar mientras se mantenga rigurosamente la simetría de la estructura. En realidad, el ancho de banda del aislamiento y de la adaptación queda esencialmente determinado por la posible excitación de modos de orden superior. Las cuatro secciones cilíndricas metálicas situadas en la base de la guía de onda circular no rompen esta simetría siempre que aseguremos un buen contacto eléctrico entre las secciones circulares y la propia unión turnstile. De esta forma, es relativamente fácil conseguir una operación banda muy ancha con un coeficiente de reflexión $> 30\text{dB}$ en todos los terminales activos.

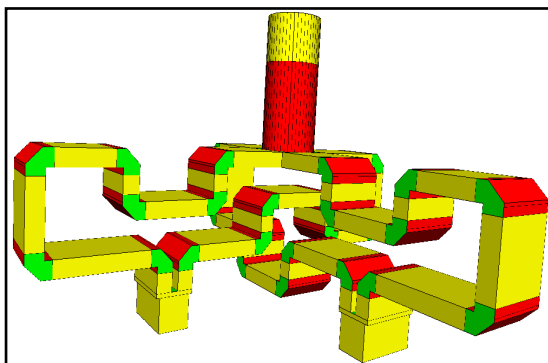


Fig.3. OMT basado en unión turnstile y 2 combinadores iguales

La Fig.3 muestra una vista del OMT completo. Las señales entran por la unión turnstile a través de las guías de onda desfasadas 180° . Estas señales se recombinan usando un sumador de potencia que esté también desfasado 180° . Dicho combinador se ha implementado usando un divisor plano-E con un simple paso, como se puede ver en la Fig.4, asegurando la división de potencia $3\text{dB}/180^\circ$ en todo el ancho de banda de frecuencia con pérdidas de retorno mejores que 50dB en la puerta común. Otra alternativa es utilizar un divisor con una entrada de un paso que permita aumentar la altura de la guía de onda para obtener a la salida puertos en guía de onda de altura reducida. Finalmente hemos utilizado el divisor más robusto frente al Yield de forma que proporcione un resultado de mejor calidad, en contraste con otros [1], [2] combinadores de altura total en los cuales son necesarias varias transiciones multi-paso para obtener a la salida del combinador una guía de altura total. Estas transiciones afectan las tolerancias mecánicas complicando el análisis de la sensibilidad. El dispositivo se ha diseñado y optimizado usando la adaptación modal convencional y los planteamientos FEM integrados en Mwizard-Mician.

La Fig.5 muestra la adaptación simulada en la puerta de la entrada del divisor. Las pérdidas de retorno están por debajo de -50dB en la banda 10 a 15 GHz. Para cada polarización, un par de codos 90° plano-E idénticos en guía de onda en altura reducida ligan las salidas de la unión turnstile a las entradas de la unión plano-E. Se pueden diseñar fácilmente con pérdidas de retorno mejores que 60dB en más de un 45% de ancho de banda. El objetivo principal en el diseño de los codos en guía de onda es obtener unas pérdidas de retorno que no interacciones entre sí ya que en muchos sistemas necesitamos una gran cantidad de curvas para asegurar la igualdad de fase entre caminos. Es muy importante entonces que las pérdidas de retorno de cada codo estén bien optimizadas: 35dB es generalmente un estado mínimo deseable.

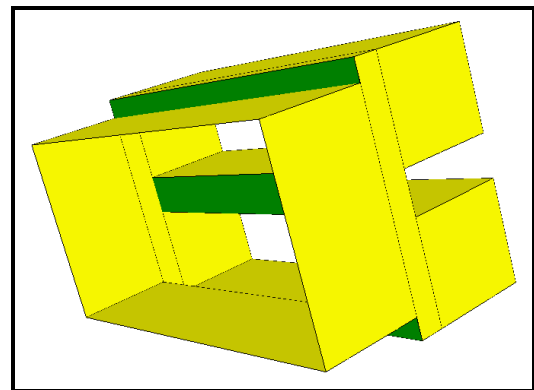


Fig.4. divisor plano-E con altura reducida

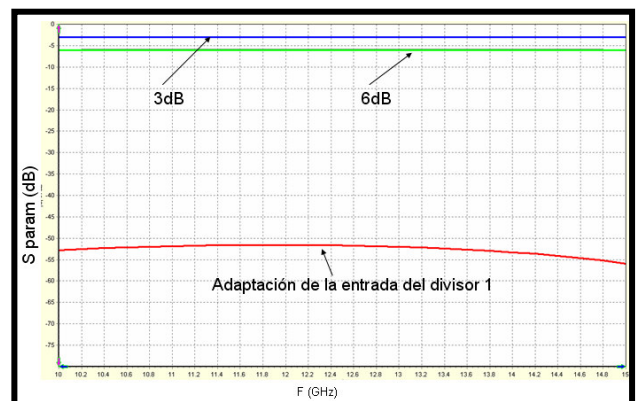
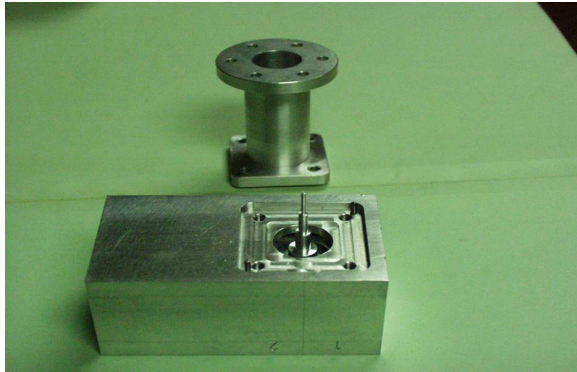


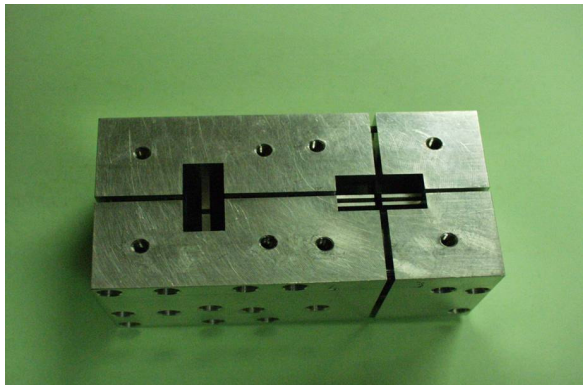
Fig.5. Parámetros S del divisor plano-E.

III. DISEÑO MECÁNICO

El OMT se ha realizado dividiendo la estructura de la Fig.3 en cuatro bloques que interseccionan a lo largo del eje de la guía de onda circular. Esto permite que todas las guías de ondas rectangulares estén divididas a lo largo de sus planos medios. El elemento cilíndrico central de varias secciones se ha fabricado como cuerpo independiente y después se atornilla al cuerpo principal formado por los cuatro bloques. El puerto común cilíndrico se ha fabricado también de forma independiente y después se ha montado con centradores a la estructura total integrada por los cuatro bloques más el elemento multi-sección. La Fig.6 muestra una fotografía del OMT fabricado para la banda Ku.



(a)



(b)

Fig.6. Vista del OMT fabricado: (a) entrada circular con las 4 secciones. (b) Vista de las salidas rectangulares

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE YIELD

Fig.8 y Fig.9 muestran las medidas experimentales de los coeficientes reflexión y transmisión para ambas polarizaciones, junto con el aislamiento entre los dos puertos rectangulares. Se puede observar la concordancia con los resultados obtenidos con el simulador Mwizard-Mician que se muestran en la Fig.7. La amplitud del coeficiente de reflexión (pérdidas de retorno) medido en la entrada circular y las salidas rectangulares del OMT está por debajo de los 30dB para ambas polarizaciones y el aislamiento entre las dos puertas rectangulares está cercano a los 60dB entre 10 y 15GHz. La adaptación simulada, también mostrada en fig.7, es casi idéntica en las puertas circulares y rectangulares. Las pérdidas de inserción del OMT son del orden de 0.1dB, muy similar al valor predicho por la simulación. Obviamente la simulación predice un aislamiento quasi-infinito (300dB) entre las dos puertas rectangulares mientras que la medida está en torno a los 60dB. Esta diferencia entre ambos valores puede ser fácilmente explicada si consideramos los parámetros generados por la simetría imperfecta (asimetría mecánica) del OMT fabricado.

Para estimar la degradación en el funcionamiento que tales errores causarían se realizó la simulación de sensibilidad del dispositivo en la banda-Ku, permitiendo tolerancias de $\pm 0.05\text{mm}$. La fig.10 demuestra la simulación del dispositivo aplicando tolerancias a todas las variables de la geometría del componente. Encontramos que en el peor caso las pérdidas de retorno no exceden los 26dB y el aislamiento siempre es mejor que 50dB.

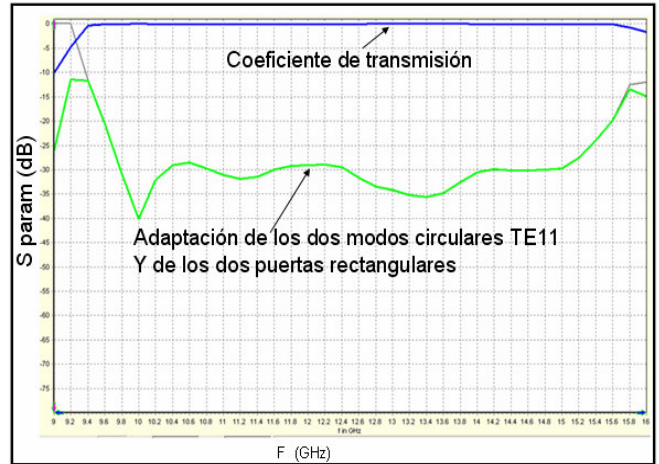


Fig.7. Los coeficientes de reflexión y de transmisión simulados del OMT.

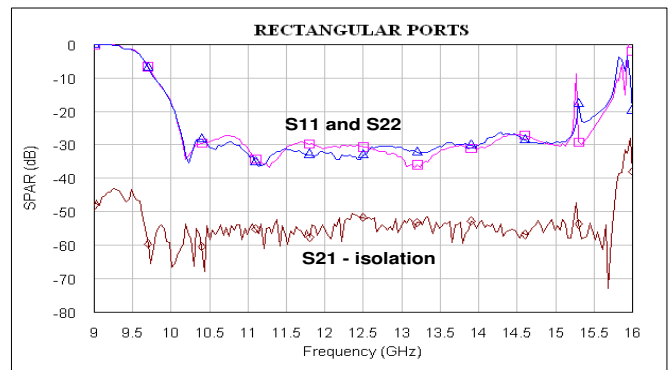


Fig. 8. Coeficientes de reflexión medidos en las dos puertas rectangulares del OMT

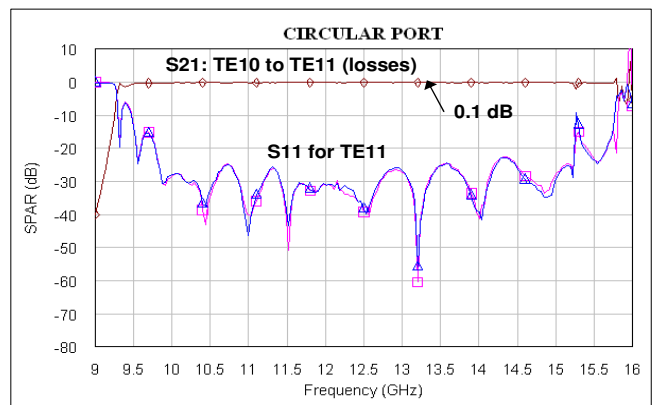


Fig. 9. Coeficientes de reflexión medidos de las dos puertas circulares y los coeficientes de transmisión del OMT.

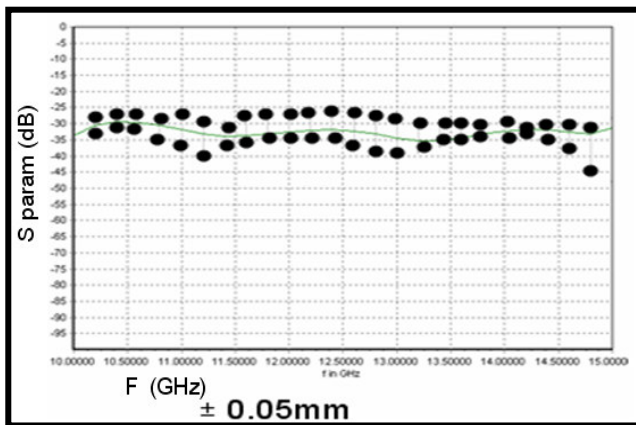


Fig.10. Análisis de sensibilidad con una tolerancia de $\pm 0.05\text{mm}$

V. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido un OMT en tecnología guía de onda en la banda Ku basado en el concepto de unión turnstile que utiliza altura reducida para las guías de onda rectangulares. Por ello, la utilización de dos combinadores idénticos y codos 90° en altura reducida ha permitido un ancho de banda instantáneo $> 40\%$. El dispositivo se ha construido usando técnicas clásicas de fresado, se ha validado esta técnica de fabricación y se ha realizado la medida del dispositivo utilizando calibración TRL tanto en los accesos rectangulares como en el terminal común circular. Los resultados obtenidos superan los existentes en la literatura, siendo un diseño bastante más robusto mecánicamente que los existentes hasta el momento. Las pérdidas de retorno obtenidas experimentalmente son del orden de 30dB, las pérdidas de inserción de 0.1dB y el aislamiento entre las puertas rectangulares de la salida del OMT del orden de 60dB en un 40% de banda. Finalmente se ha efectuado un análisis de sensibilidad a las tolerancias mecánicas estándar que demuestra la poca sensibilidad del diseño en la banda Ku.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren hacer público su agradecimiento a los siguientes proyectos, dentro de los cuales se han obtenido los resultados presentados en este artículo:

Queremos hacer constar nuestra gratitud a la AECE a través de su programa "Becas para Extranjeros no Iberoamericanos para Estudios de Postgrado, Doctorado y Postdoctorado en Universidades y Centros Superiores en España".

Referencias

- [1] A. M. Bøifot, E. Lier, and T. Schaug-Pettersen, "Simple and broadband orthomode transducer," *Proc. Inst. Elect. Eng.*, vol. 137, no. 6, pp. 396–400, 1990.
- [2] E. J. Wollack, W. Grammer, "Symmetric waveguide orthomode junctions," In *Proc. 14th Int. Space Terahertz Technology Symp.*, Tucson, AZ, Apr. 2003, pp. 169–176.
- [3] G. Narayanan and N. Erickson, "Full-waveguide band orthomode transducer for the 3 mm and 1 mm bands," in *Proc. 14th Int. Space Terahertz Technology Symp.*, Tucson, AZ, Apr. 2003, pp. 508–512.
- [4] A. Navarrini and M. Carter, "Design of a dual polarization SIS sideband separating receiver based on waveguide OMT for the 275–370 GHz frequency band," in *Proc. 14th Int. Space Terahertz Technology Symp.*, Tucson, AZ, Apr. 2003, pp. 159–168.
- [5] A. Navarrini R. L. Plambeck, "A Turnstile Junction Waveguide Orthomode Transducer", *Ieee TRANS.MTT*, VOL. 54, NO. 1, January 2006
- [6] G. Pisano, L. Pietranera, K. Isak, L. Piccirillo, B. Johnson, B. Maffei, S. Melhuish, "A broadband WR10 turnstile junction orthomode

transducer", *Ieee microwave and wireless components letters*. Vol.17, No.4, Avril 2007

- [7] Y. Aramaki, N. Yoneda, M. Miyazaki, and T. Horie, "Ultra-thin broad-band OMT with turnstile junction," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, Philadelphia, PA, Jun. 2003, pp. 47–50.
- [8] G. Engargiola and A. Navarrini, "K-band orthomode transducer with waveguide ports and balanced coaxial probes," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, no. 5, pp. 1792–1801, May 2005.
- [9] M. A. Meyer and H. B. Goldberg, "Applications of the turnstile junction," *IRE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. MTT-3, no. 6, pp. 40–45, Dec. 1955.
- [10] A. Tribak, N. Fernández, A. Mediavilla, B. Aja, F. Marante, M. Boussouis "On the scalability properties of full-band OMT's based on reduced height turnstile junctions for satellite links", *ISMOT 17-21 December 2007, Italy*, pp.537-540.