

1. GENERALIDADES SOBRE LA VISIÓN BINOCULAR

- 1.1.** Evolución y desarrollo de la visión binocular
- 1.2.** Condiciones para la visión binocular
- 1.3.** Campo visual binocular
- 1.4.** Campo de fijación binocular
- 1.5.** Transmisión neural y fusión de las imágenes oculares
- 1.6.** Grados de visión simultánea
- 1.7.** Espacio visual y espacio físico

1.1 EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DE LA VISIÓN BINOCULAR

Si analizamos los sistemas visuales de las diferentes especies animales podemos apreciar diferencias realmente importantes. De hecho, la posición de los ojos es la más evidente, habiendo especies con ubicaciones laterales y otros cuyos ojos se encuentran localizados de forma frontal. En el primer caso, el campo visual obtenido es mucho más extenso, lo cual permite obtener una amplia panorámica de todo aquello que lo rodea, sin necesidad de realizar movimientos de cabeza. En el caso de la posición frontal de los ojos, los campos visuales de ambos ojos se solapan, de forma que se pierde una importante extensión de dicha panorámica. Los animales con localización ocular lateral son aquellos que deben huir del peligro de ataque por parte de otros animales, mientras que los de localización frontal suelen ser los cazadores.

Como veremos más adelante, el solapamiento de los campos visuales monoculares permite una percepción del espacio y de la localización de los objetos que se encuentran en él, mucho más precisos. Esta capacidad está desarrollada en su máximo grado en los humanos.

Aunque una disminución del campo visual en posición estática pueda parecer un problema importante, no se debe olvidar el incremento de este campo visual en una situación dinámica, cuando entran en juego los movimientos oculares y de la cabeza.

Sólo los simios y los humanos han desarrollado una gran capacidad de la convergencia hasta el punto de mantener la fijación de los objetos hasta unos pocos centímetros de la nariz. Esta misma capacidad la poseen gatos y perros, pero en un grado más reducido.

Los movimientos oculares voluntarios también son una característica de la evolución ya que están en íntima relación con la evolución de la retina central, donde la discriminación del color, la forma y el espacio es más fina. Los primates y los humanos son quienes más desarrollados tienen este tipo de movimientos oculares.

La decusación parcial de las fibras de ambos nervios ópticos está en estrecha relación con el solapamiento de campos visuales como indica la tabla 1.1.1.

<i>Animal</i>	<i>Fibras que no sufren decusación</i>	<i>Tamaño del campo visual binocular</i>
Caballo	13 %	65°
Perro	33 %	98°
Primate	50 %	124° - 200°

Tabla 1.1.1 Grado de decusación quiasmática de diversos mamíferos y campo visual binocular.

Esta decusación parcial de fibras permite tener información del mismo semicampo en un hemisferio cerebral, lo cual facilita el proceso de la fusión y de las respuestas oculomotoras a un estímulo visual.

En definitiva, un sistema visual binocular más evolucionado se caracteriza por:

- a) Ubicación frontal de los ojos.
- b) Amplio solapamiento de los campos visuales monoculares, que permite una mayor capacidad de percepción espacial y de localización de objetos.
- c) Gran capacidad de convergencia.
- d) Desarrollo de movimientos oculares voluntarios.
- e) Decusación parcial de fibras de los nervios ópticos.

1.2 CONDICIONES PARA LA VISIÓN BINOCULAR

La *visión binocular* es la integración de la sensación producida por los estímulos luminosos que llegan a cada ojo en una percepción única.

El hecho de tener dos ojos no es sinónimo de visión binocular. El camaleón, por ejemplo, tiene dos ojos que se mueven independientemente y, sin embargo, no tiene visión binocular. Para que ésta tenga lugar, los dos ojos se han de mover de forma coordinada, de manera que la impresión final del espacio exterior sea única.

El *proceso que se sigue para tener visión binocular* es el siguiente:

- 1º. Se forma una imagen de la misma escena en cada una de las retinas.
- 2º. La luz estimula los fotorreceptores que dan lugar a impulsos neurales.
- 3º. Los impulsos neurales de cada ojo se transmiten por separado al cerebro.
- 4º. La percepción final es el resultado de la fusión de ambas representaciones neurales en el córtex cerebral.

Por otra parte, los requisitos que debe cumplir un sujeto para tener visión binocular se resumen a continuación:

- a) Los campos visuales de cada ojo se han de solapar, de manera que quede un campo binocular amplio del que se pueda formar una imagen en cada retina.
- b) Los movimientos de los ojos tienen que estar coordinados para que los ejes visuales intersecten sobre el mismo punto de fijación. Los campos de fijación se tienen que solapar.
- c) Las transmisiones neurales de ambos ojos han de conducir las dos impresiones del objeto a regiones asociadas del córtex cerebral.
- d) El cerebro ha de tener la capacidad de fusionar las dos impresiones y coordinarlas en una percepción binocular simple.

En caso de que no se den estas cuatro condiciones, aparecen las anomalías de la visión binocular, que podemos clasificar en dos grandes apartados:

- a) Falta de equilibrio en el sistema oculomotor, donde se dan *heteroforias* y *estrabismos*.
- b) Diferencias en las imágenes oculares, cuyas causas básicas son *anisometropías* y *aniseiconias*.

A medida que vamos subiendo en la escala animal, va mejorando la visión binocular. Así, los pájaros tienen visión monocular, los primates comienzan a tener visión binocular, y los seres humanos la tenemos plenamente desarrollada.

La ventaja fundamental de la visión binocular sobre la monocular es la posibilidad de la visión en relieve o visión estereoscópica.

1.3 CAMPO VISUAL BINOCULAR

Se define como *campo visual* la región del espacio que se ve, simultáneamente, cuando se mantiene la fijación sobre un objeto determinado y la cabeza estacionaria (esta definición hace referencia a la visión monocular). Las

dimensiones del campo visual son, según muestra la figura 1.3.1, superiormente 60°, hacia el lado nasal 60°, hacia el lado temporal 95° e inferiormente 75°.

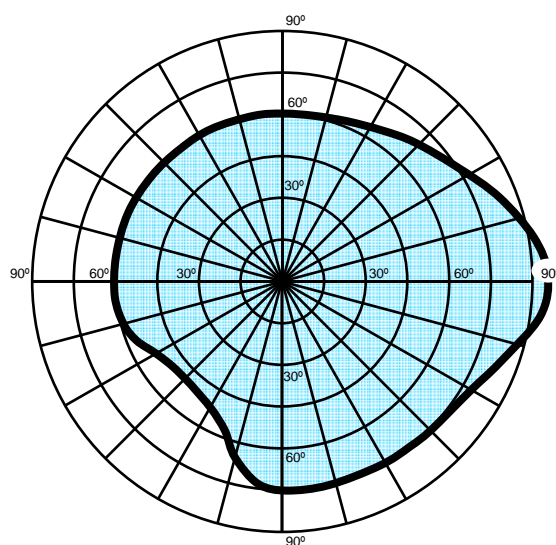


Figura 1.3.1 Campo visual del ojo derecho

La metodología que el optometrista utiliza más a menudo para determinar sus dimensiones es la perimetría cinética. Dicha técnica consiste en presentar, sobre pantalla tangente o arco perimétrico, un estímulo lo suficientemente grande como para ser detectado en visión periférica. Manteniendo la fijación constante en el punto de fijación central del instrumento, este estímulo se desplaza, a lo largo de un meridiano, siguiendo el método de los límites: partimos de una posición externa al campo visual, en la que no es visto, y lo dirigimos hacia la parte interior hasta que es detectado por primera vez (posición p_1); acto seguido procedemos de forma contraria, partiendo de una posición del estímulo dentro del campo visual, en la que es detectado, lo desplazamos hacia la parte exterior de aquél hasta que se deja de percibir (posición p_2). La extensión del campo visual es la media aritmética entre las posiciones p_1 y p_2 .

La contribución del campo visual de los dos ojos se denomina *campo visual conjunto* y contiene los puntos del espacio que son vistos en situación de fijación binocular, sin mover la cabeza. El campo visual conjunto (figura 1.3.2) está formado por el *campo visual binocular* (región del espacio que es vista binocularmente en situación de fijación binocular) y las regiones extremas temporales o *crecientes temporales* (visibles sólo para un ojo); se extiende a

través de una región que excede los 180° horizontalmente, pero hay regiones que son invisibles para cada uno de los ojos, debido a la nariz. Notemos que el campo visual binocular, en su sección horizontal, tiene una dimensión de 120° , es decir, las $2/3$ partes del campo visual conjunto.

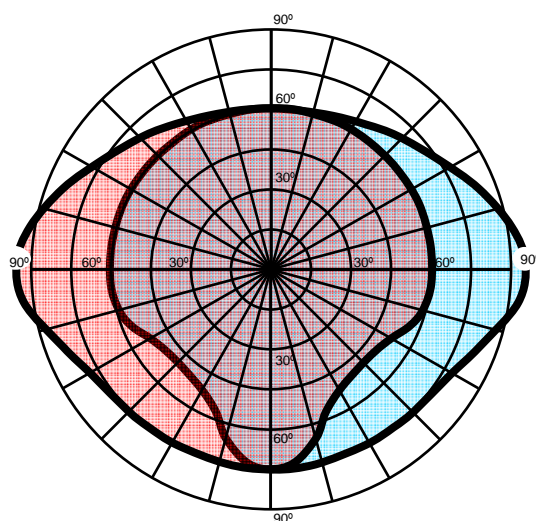


Figura 1.3.2 Campo visual conjunto y campo visual binocular (morado)

1.4 Campo de fijación binocular

El *campo de fijación* es la región del espacio que contiene todos los puntos que pueden ser fijados por el ojo, sin ningún movimiento de la cabeza. Los límites del campo de fijación (figura 1.4.1) dependen de la configuración de las estructuras anatómicas que rodean los ojos, mostrándose diferencias individuales importantes. Teniendo en cuenta los valores medios de diferentes estudios, las dimensiones del campo de fijación son superiormente 35° , hacia el lado nasal 45° , hacia el lado temporal 40° e inferiormente 55° .

Existen métodos objetivos y subjetivos para obtener las dimensiones del campo de fijación. Dentro de los métodos subjetivos destacaremos:

Método de las postimágenes: tras observar fijamente una luz brillante o un flash electrónico suficientemente pequeños como para que no excedan la visión foveal, se producirán postimágenes. Con la ayuda de un arco perimétrico, podremos establecer los límites del campo de fijación anotando los valores de la escala, extremos en los que se

llegan a situar las postimágenes. Esto puede ir realizándose meridiano a meridiano hasta barrer los 360° del campo objeto. Una variante de este método consistiría en situar la postimagen sobre un objeto que se desplaza.

Método del test de elevada agudeza visual: Utilizando un test de pequeño tamaño (por ejemplo, unas letras pequeñas), se indica al paciente que lo siga con la mirada y que avise cuando lo empiece a ver borroso. El test se va moviendo hacia la parte externa del perímetro, y se anota el valor de la escala cuando el paciente avisa. El tamaño del test debe ser el adecuado para asegurar que la visión sea foveal.

Como método objetivo destacaremos:

Método del reflejo corneal: Se trata de un método objetivo en el que el estímulo que debe ser fijado es luminoso. Mientras se va desplazando hacia la periferia, a lo largo de un meridiano concreto, se controla que el reflejo corneal correspondiente se encuentre centrado respecto a la pupila. En el momento que el reflejo se desplaza del centro pupilar, significa que el ojo ya no sigue el desplazamiento del estímulo y, por lo tanto, ya no fija correctamente sobre el objeto. En este momento, se ha superado el límite del campo de fijación.

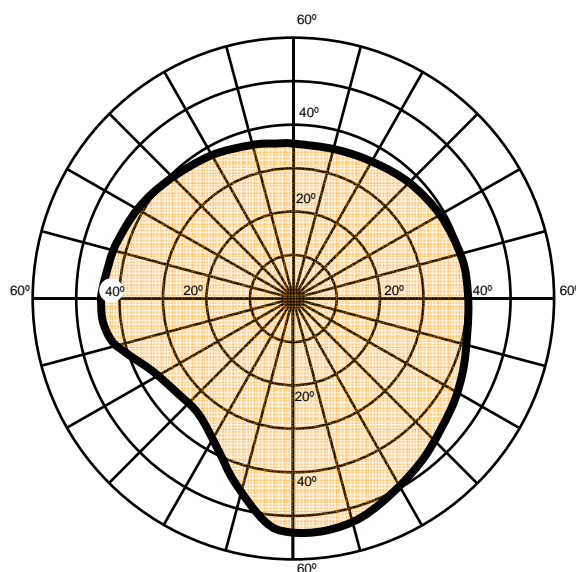


Figura 1.4.1 Campo de fijación del ojo derecho.

Un concepto paralelo al de campo de fijación es el de *campo de fijación práctico*, que es el campo de fijación obtenido permitiendo el movimiento de la cabeza.

La contribución de ambos ojos da lugar al *campo de fijación binocular*, que es la región del espacio que contiene los puntos que pueden ser fijados binocularmente en ausencia de movimientos de la cabeza (figura 1.4.2). Los límites del campo de fijación binocular son menos extensos incluso que el resultado obtenido de la intersección de ambos campos de fijación monoculares. A pesar de ello suele considerarse como una buena aproximación que el campo de fijación binocular es dicha intersección. Normalmente no se utiliza la extensión total del campo de fijación, ya que la cabeza suele rotar incluso en caso de pequeños desplazamientos oculares (i.e. partido de tenis). Según Ritzmann, este movimiento de la cabeza varía según la dirección de la mirada: hacia el lado superior 1/3 parte del movimiento lo realizan los ojos y el resto la cabeza; hacia el lado inferior casi no participa el movimiento de la cabeza.

Es importante distinguir claramente los conceptos de campo visual y de campo de fijación. El primero se refiere a la porción del espacio que se ve simultáneamente mientras los ojos se encuentran fijando a un punto. El segundo es el ángulo sólido por donde pueden moverse los ejes visuales manteniendo la cabeza en posición estática.

Asimismo, las anomalías que se detectan en el campo visual o en el campo de fijación, corresponden a problemas de naturaleza muy distinta. Mientras que en el primero se aprecian anomalías sensoriales (opacidades de los medios oculares, lesiones en la retina, etc.), en el segundo se trata de anomalías de tipo motor (estrabismos, parálisis, etc.).

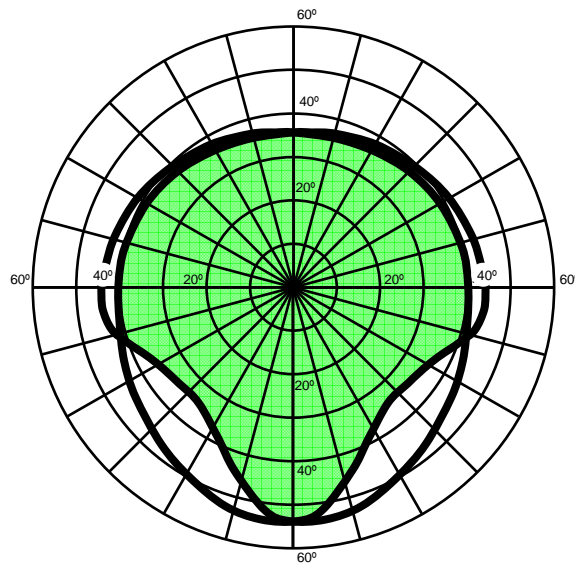


Figura 1.4.2 Campo de fijación binocular (sombreado)

Otro concepto a destacar es el de *campo visual dinámico* que es la suma de todos los campos visuales obtenidos para todos los posibles puntos de fijación, con la cabeza inmóvil.

El movimiento conjunto de los ojos y de la cabeza incrementa notablemente el campo visual efectivo. Cuando queremos fijar nuestra atención sobre un objeto situado en el campo periférico, se produce una respuesta coordinada de la cabeza y los ojos para poder formar su imagen sobre la fovea. Gracias al movimiento de la cabeza, los ojos no suelen realizar movimientos superiores a los 20°.

1.5 TRANSMISIÓN NEURAL Y FUSIÓN DE LAS IMÁGENES OCULARES

Como es sabido, el hemisferio derecho del cerebro está asociado a la parte izquierda del cuerpo y del espacio exterior, y viceversa. Por lo tanto, en principio, cabe suponer que las fibras visuales de ambos ojos pasan al lado contrario.

Si todas las fibras se cruzan, la información neural no puede integrarse para obtener visión binocular, a menos que existan caminos de comunicación entre los dos hemisferios cerebrales.

A nivel del quiasma se produce una *decusación quiasmática parcial*, que se esquematiza en la figura 1.5.1. Como puede verse en dicha figura, las fibras correspondientes a la retina nasal van al hemisferio heterolateral, y las de la retina temporal al hemisferio homolateral. Así, la información del semicampo izquierdo llega hasta el hemisferio derecho del cerebro, y la correspondiente al semicampo derecho, al hemisferio izquierdo.

Esta información es importante conocerla, ya que por mediación de una simple exploración del campo visual, se pueden detectar anomalías a niveles en los que es difícil acceder. Por ejemplo:

- a) Una lesión del nervio óptico izquierdo (1) daría lugar a la pérdida total del campo visual monocular izquierdo. El campo visual conjunto se vería reducido ya que se perdería la visión del creciente temporal izquierdo. Además en este caso no existiría campo visual binocular alguno.
- b) Una lesión en el quiasma óptico (2) daría lugar la pérdida de los semicampos temporales de ambos ojos. Ello conllevaría la pérdida de ambos crecientes temporales, si tenemos en cuenta el campo visual conjunto. En este caso tampoco existiría campo visual binocular alguno.
- c) Si la lesión se encontrase en la cintilla óptica del lado derecho (3), la información perdida sería la correspondiente al semicampo izquierdo. En este caso sí existiría un campo visual binocular que tendría, aproximadamente, la mitad de extensión del correspondiente a una persona sin lesión alguna.

Gracias a esta decusación parcial en el quiasma, tenemos representación de cada uno de los campos monoculares en cada hemisferio del cerebro. Pero, para obtener una imagen única, se han de verificar aún algunas condiciones más que analizaremos en el tema sobre la Fusión.

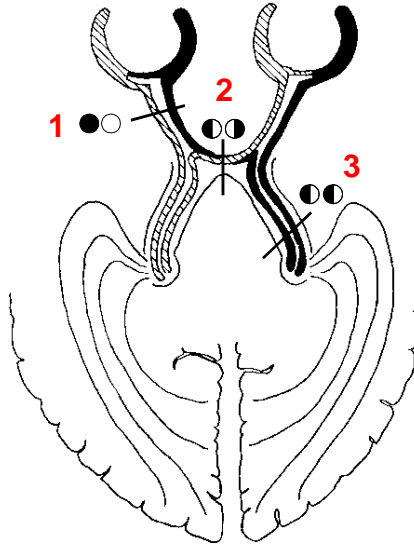


Figura 1.5.1 Representación esquemática de la vía óptica

1.6 GRADOS DE VISIÓN SIMULTÁNEA

Se han de distinguir cinco conceptos diferentes referidos a la visión simultánea:

- a) **Percepción macular simultánea:** Se da esta situación cuando dos objetos situados en los ejes visuales son vistos de forma simultánea. En la figura 1.6.1 se muestra una experiencia que ilustra este caso, mediante la ayuda de un cristal en el que se colocan dos objetos transparentes distintos, mientras se mantiene la fijación sobre un objeto distante. Si existe percepción macular simultánea, el cuadrado, el círculo y el punto de fijación son percibidos superpuestos.

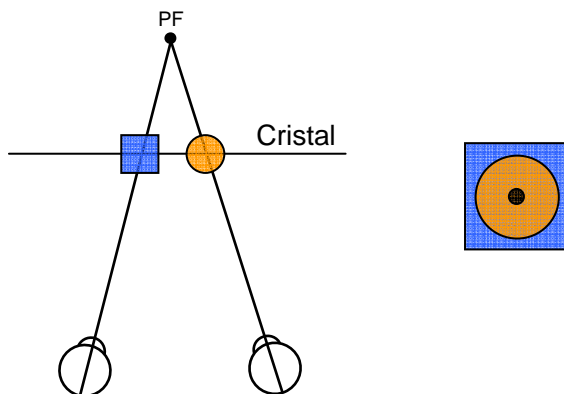


Figura 1.6.1 Experiencia que ilustra la visión macular simultánea

- b) **Fijación binocular:** Se da cuando la persona es capaz de dirigir los dos ejes visuales simultáneamente a un objeto común. Este grado de visión simultánea (llamado también *fusión motora*) no implica necesariamente fusión a nivel sensorial. Hay personas que tienen esta capacidad y otros que, aún teniéndola, no pueden fusionar ambas imágenes. Si colocamos un prisma de baja potencia aparece la diplopía, ya que las dos imágenes están superpuestas.
- c) **Fusión:** Las dos imágenes oculares son integradas a nivel del córtex cerebral, y tenemos percepción de una imagen única. Este grado de visión simultánea se denomina también *fusión sensorial*.
- d) **Visión Binocular:** Una persona tiene visión binocular cuando, teniendo percepción macular simultánea y fijación binocular, es capaz de fusionar las imágenes oculares (percepciones obtenidas a través de cada uno de los ojos).
- e) **Visión Estereoscópica:** Es el grado máximo de visión simultánea. Una persona tiene visión estereoscópica cuando, además de tener visión binocular, consigue la percepción del relieve.

No obstante, en la práctica clínica se habla simplemente de los puntos a), c) y e) como de los *grados de visión binocular*, existiendo una rutina optométrica para valorar cada uno de ellos.

1.7 ESPACIO VISUAL Y ESPACIO FÍSICO

Los ojos, mediante los procesos visuales, transforman el mundo objetivo, a través de los estímulos luminosos, en un mundo subjetivo de forma, relaciones espaciales y color. Es debido a esto que hemos de diferenciar el espacio objetivo o espacio físico, y el espacio subjetivo o espacio visual.

Entendemos por *espacio físico* aquél en el que podemos medir con regla y goniómetro. Estos dos instrumentos son los imprescindibles para conocer la información de *dirección y distancia*, imprescindibles para conseguir la correcta

localización de los objetos, tal como se remarcará en temas posteriores. El *espacio visual*, sin embargo, se obtiene a través de las experiencias y reescalado de las relaciones aparentes de los objetos.

La definición que da el “Dictionary of Visual Science de Cline, Hofstetter y Griffin” es la siguiente: *El espacio visual es el espacio percibido a través del sentido de la visión, que tiene atributos de dimensión y dirección similares al espacio físico, pero no necesariamente en la misma proporción.*

En la figura 1.7.1 se muestra una ilusión óptica muy conocida y que puede servir para aclarar ambos conceptos. El polígono de la figura es un cuadrado que puede medirse físicamente. Visualmente, el lado superior es más grande que el inferior, mientras que los laterales están inclinados. Esta figura nos recuerda un cuadrado visto con una pequeña inclinación.

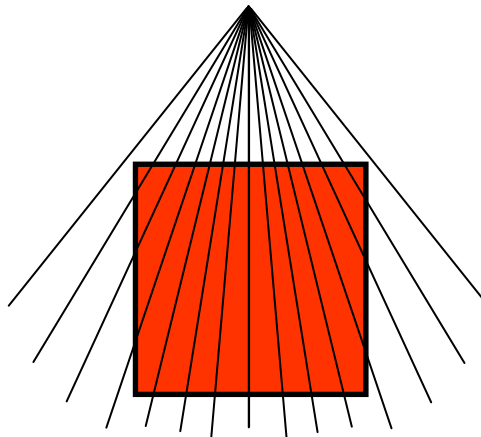


Figura 1.7.1 Ilusión óptica

La experiencia del pasillo de Hillebrand & Blumenfeld, es otro ejemplo que puede ser útil para este mismo cometido. Al pedir a un observador que coloque dos filas de pequeñas fuentes luminosas paralelas al plano medio de la cabeza, el resultado obtenido es el indicado en la figura 1.7.2.

Ambos ejemplos demuestran que espacio visual y espacio físico no son idénticos. Sin embargo, más que la naturaleza exacta del espacio visual, lo que es importante para una persona que trabaje en el espacio físico es que las relaciones entre estos dos espacios se mantengan constantes. Un cambio en dichas relaciones fuerza a la persona a comenzar de nuevo el proceso de

aprendizaje para ajustar sus respuestas motoras a lo que está viendo. Este reajuste produce errores como, por ejemplo, tropiezos en escaleras, ansiedad por ver las cosas de forma "extraña", etc.

Las personas experimentan esto cuando llevan una nueva corrección donde la potencia de las lentes, el eje del cilindro, la curva de base o la potencia prismática han variado. Esto no quiere decir que estos cambios no deban hacerse, ya que el paciente consigue un rápido ajuste gracias a las mejoras que experimenta su visión.

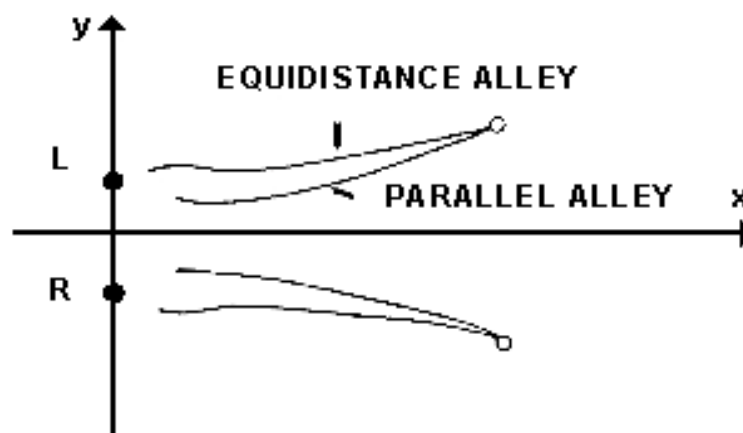


Figura 1.7.2 Resultados de la experiencia del pasillo de Hillebrand & Blumenfeld.