

Capítulo VI

“...- Verdaderamente debes de ser tonto. Ernenek, pensativo, cogió una cabeza de pescado que se hallaba sobre el banco y refunfuñando consigo mismo se puso a hacer conjeturas sobre el enigma de lo imponderable. ...”

Hans Ruesch - “El País de las Sombras Largas”

PARADOJAS REALES Y PARADOJAS APARENTES

Posiblemente éste sea el capítulo más sorprendente del presente libro.

También, dependiendo de los preconceptos y/o capacidad de asombro del lector, puede ser el desarrollo más confuso o el más esclarecedor de todos los que he escrito con respecto a la Relatividad Especial.

***Nota:** Para que el lector saque provecho de este desarrollo, es muy importante que tenga claro el sincronismo (¿des-sincronismo?) de relojes entre sistemas en movimiento uniforme, que resulta de aplicar las Transformadas de Lorentz. Esto significa que debe sentirse cómodo con diagramas como los presentados en los capítulos precedentes. De otro modo puede ocurrir que el amable lector crea que estoy inventando esquemas a conveniencia de lo que quiero demostrar, y no es esa mi intención.*

Quienes han seguido mis desarrollos hasta este punto deben tener en claro que, aunque acepto la validez de las ecuaciones de la Relatividad Especial, no comparto el significado de las mismas.

Para resumir mi enfoque, puedo decir que mi postura difiere de la adoptada por quienes aceptan la interpretación “ortodoxa” de Relatividad Especial en la identificación de situaciones aparentes y situaciones reales.

Un ejemplo basado en experiencias cotidianas puede mostrar el objetivo y alcance de este capítulo.

Imaginemos dos personas separadas por 20 m de distancia. Si cada una extiende su brazo colocando una regla graduada a una distancia de 1 metro de sus ojos, puede observar que la otra persona tiene una altura aparente cercana a 10 cm.

Son sólo observaciones aparentes en que cada uno observa al otro de menor altura que él mismo.

Podríamos resumir la experiencia diciendo que, cuando están separados uno de otro, los observadores **A** y **B** registran los siguientes resultados:

- **A** observa que **B** es más pequeño que **A**.
- **B** observa que **A** es más pequeño que **B**.

Esto no constituye una paradoja. Las observaciones son contradictorias pero existe una explicación racional para ello.

Pero..., si afirmamos que ambas observaciones no son aparentes sino verdaderas, generamos un conflicto lógico. En otras palabras, que **A** sea menor que **B** y que **B** sea menor que **A**, simultáneamente, es una paradoja.

Veremos, merced a la aplicación de las transformadas de Lorentz, que esta última situación es la que genera la interpretación ortodoxa de la Relatividad Especial al afirmar que la equivalencia de los sistemas inerciales es real y no aparente.

De acuerdo con mi propio análisis del mundo físico, la velocidad de la luz sólo aparenta ser constante, las contracciones y dilataciones relativistas son reales y la equivalencia de los sistemas inerciales es sólo aparente.

Y, también conforme con mi interpretación, existen **Marcos de Referencia Estacionarios** (más precisamente **Localmente Estacionarios**), que denomino **MRLE**, cuya identificación no es posible de lograr mediante experiencias cotidianas.

Por lo tanto, mediante un ejemplo sencillo, en este capítulo quiero analizar el comportamiento de relojes sometidos a aceleraciones. El ejemplo demuestra que un **MRLE** genera el mismo resultado aparentemente paradójico de la Relatividad Especial pero permite explicarlo (y solucionar las paradojas) sin recurrir a la Relatividad General.

***NOTA:** La Relatividad Especial permite el análisis de sistemas acelerados siempre y cuando el sistema, desde el que se realiza el estudio, permanezca en estado inercial. El ejemplo más simple de esta situación lo constituyen los aceleradores de partículas, donde la descripción de las partículas aceleradas, que se realiza desde el laboratorio (sistema de referencia básicamente inercial), es totalmente adecuada. El ejemplo presente demuestra que empleando un **MRLE** se puede ampliar el campo de estudios de los sistemas acelerados sin recurrir a la Relatividad General.*

EXPERIMENTO

Para los fines del experimento voy a seleccionar dos sistemas inerciales que se mueven con una velocidad relativa de $0.866 c$. Esta velocidad relativa genera un coeficiente de Lorentz de 0.500 , de modo que cada sistema observa que los relojes del otro marchan a la mitad de ritmo que sus propios relojes y las varillas solidarias al otro sistema poseen sólo la mitad de la longitud declarada por sus dueños.

De acuerdo con la Relatividad Especial para los observadores del sistema **A**, los relojes de ambos sistemas marchan de acuerdo a como se muestra en la Fig. VI-1.

Para construir dicha figura todo lo que se hizo fue aplicar las transformadas de Lorentz a los valores del ejemplo.

Cabe destacar que la Fig. VI-1 no está en escala. El largo total de los sistemas representados es del orden de la décima parte de la distancia Tierra-Sol, en tanto que la separación entre ejes puede tomarse como si fuera sólo de unos metros para permitir la observación "cara a cara" de los observadores que se enfrentan.

En resumen, la Fig. VI-1 nos muestra el estado inicial del sistema tal como lo describirían los observadores del sistema **A** luego de comparar sus respectivas apreciaciones.

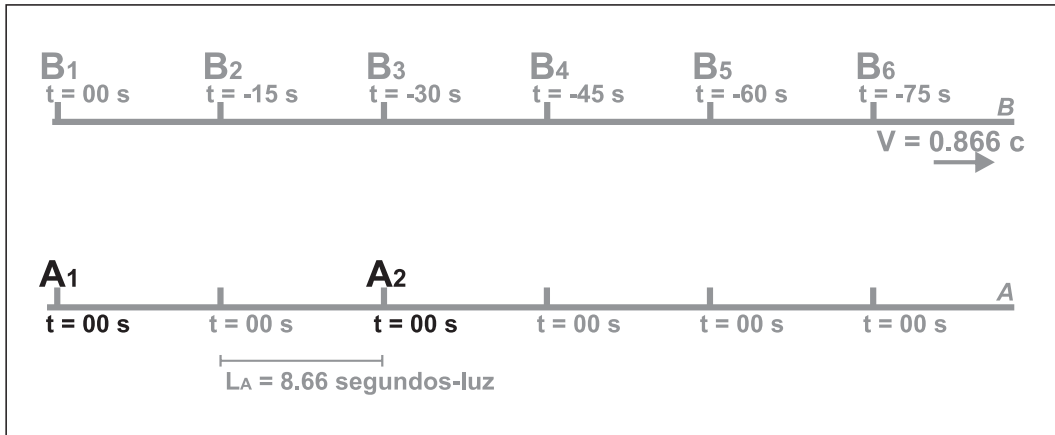


Fig. VI-1: Marcha de los relojes, al inicio de la experiencia, de acuerdo con los observadores del eje A.

Nota: En estas figuras ningún observador “ve” la imagen presentada. Cada observador sólo ve en forma directa al observador del otro eje que pasa delante de él. El esquema presentado, lo reconstruye el sistema A sobre la base de las observaciones individuales de cada uno de sus experimentadores, luego de sincronizar los relojes mediante el envío y retorno de señales luminosas.

En el sistema inercial A se indican las lecturas de relojes separados a intervalos de 8.66 segundos-luz con las lecturas de los relojes del sistema B que se enfrentan a las posiciones de A.

Por conveniencia elegimos, en A, dos observadores especiales identificados como A1 y A2.

Para los observadores del sistema A, los relojes del sistema B muestran un marcado desorden (tal como ocurre siempre que se aplican las transformadas de Lorentz).

Nota: Empleando las mismas transformadas de Lorentz, para los observadores de B se puede construir una Figura equivalente donde sus relojes marchan totalmente sincronizados, mientras que los del sistema A son los que presentan el aspecto de desorden que se muestra para B en la Fig. VI-1

Podemos comenzar, entonces, con el experimento:

Cuando todos los relojes de A, marcan 00 s, A1 es acelerado instantáneamente alcanzando una velocidad de $0.866 c$ con respecto al sistema A. Desde el momento que adquiere esa velocidad, A1 permanece estacionario con respecto al sistema B, que ya se estaba moviendo a $0.866 c$ con respecto a A. Este cambio puede resumirse diciendo que, cuando su reloj marca 00 s, A1 salta, instantáneamente, al eje móvil.

Nota: Estos saltos bruscos, elegidos para eliminar el análisis de lo que pasa durante un período de aceleración prolongado, no son posibles para personas físicas, pues resultarían desintegradas en el intento. Sin embargo esta situación es frecuente durante la aceleración y choques de partículas subatómicas. Por otro lado veremos que los períodos de aceleración se

pueden estudiar perfectamente, La razón de no incluirlos en este experimento es sólo la de minimizar los cálculos y análisis.

La situación descrita hasta este punto se esquematiza en la Fig. VI-2. Durante la aceleración, el reloj de **A1** mantiene la lectura que tenía antes de la aceleración (este punto se analiza con más detalle en la discusión final).

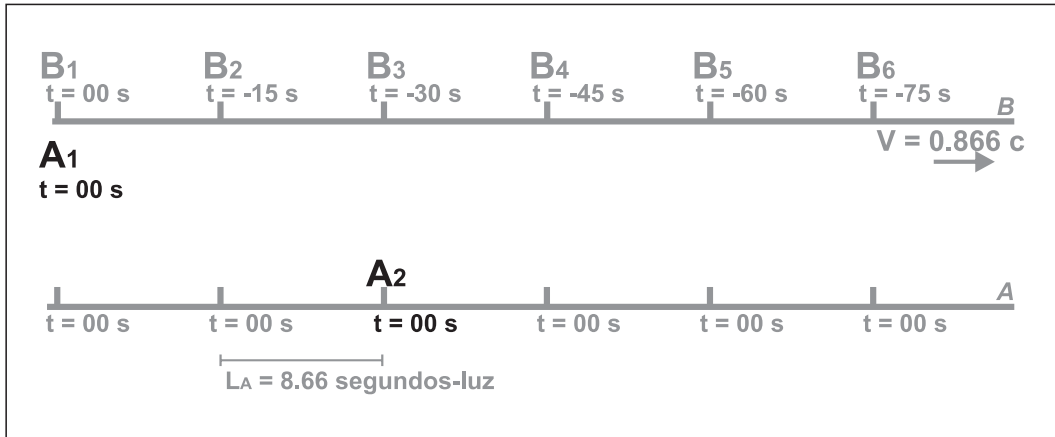


Fig. VI-2: Cuando los relojes de **A** marcan 00 s el observador **A1** es acelerado instantáneamente hasta adquirir una velocidad de $0.866 c$ con respecto al eje **A**. Desde ese momento se mueve en forma solidaria al eje **B**

Sabiendo que a $0.866 c$ el coeficiente de Lorentz es de 0.5, el reloj de **A1** comienza a marchar a la mitad del ritmo que tenía en **A**. Esta apreciación no es la del propio **A1**, sino la de los observadores que permanecen estacionarios en **A**

Diez segundos después (siempre conforme a las apreciaciones del sistema **A**) las cosas están como se indica en la Fig. VI-3. En este punto todos los relojes del sistema **B** se desplazaron hacia la derecha e incrementaron sus lecturas en sólo 5 s. El reloj de **A1** perdió el sincronismo que tenía con los relojes del sistema **A**.

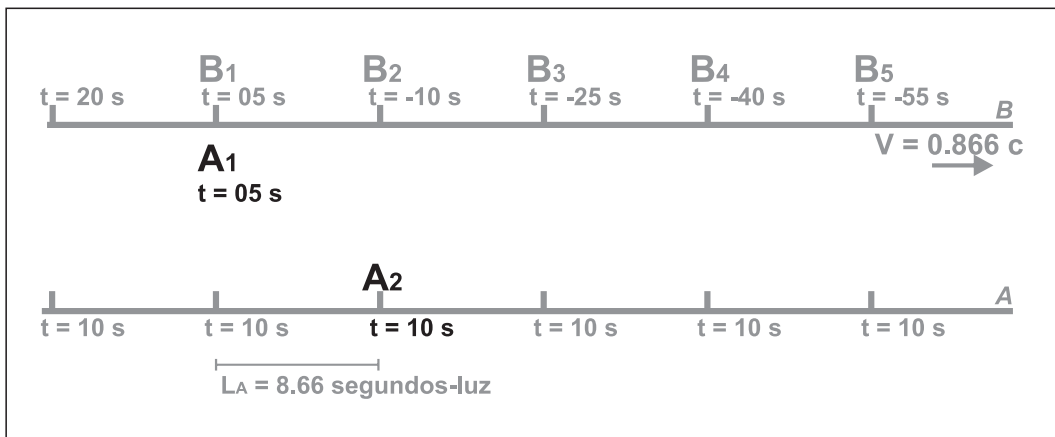


Fig. VI-3: **A1** avanza hacia la posición de **A2**. Los relojes de **A** avanzaron 10 s, mientras que los de **B** (incluido el del propio **A1**) sólo avanzaron 5 s.

La Fig. VI-4 muestra el estado de cosas 10 s después (medidos en el sistema **A**) cuando **A1** pasa por la posición de **A2**. Ambos observadores comprueban que el reloj de **A1** avanzó sólo 10 segundos, mientras que el reloj de **A2** registró el paso de 20 segundos.

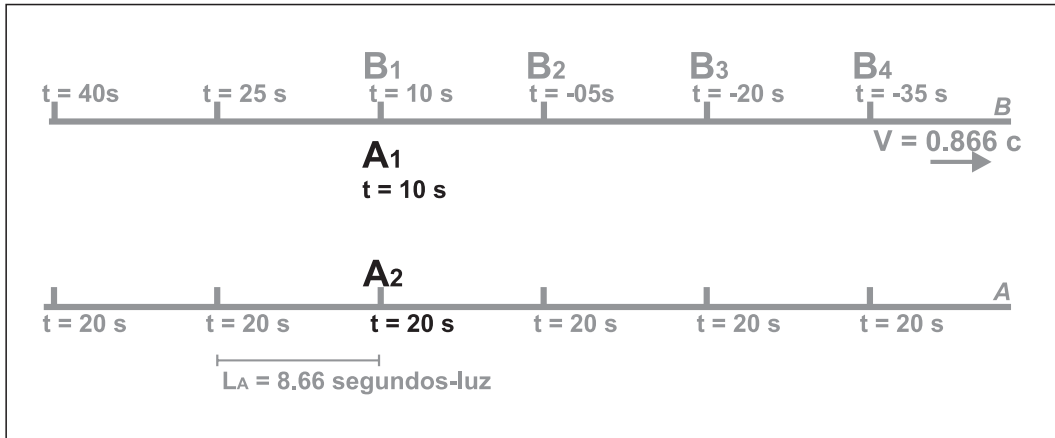


Fig. VI-4: Instante en que **A1** alcanza la posición de **A2**. Todas las lecturas están hechas desde el sistema **A**.

Como seguramente habrán apreciado los lectores compenetrados con los textos relativistas, hasta este punto no hemos hecho más que desarrollar una variante simple de la tradicional paradoja de los gemelos. De este modo concluiríamos que, desde el momento de su aceleración, el reloj del gemelo viajero (**A1**) avanzó más lentamente que el reloj del gemelo sedentario (**A2**).

En el desarrollo previo sólo analizamos las observaciones realizadas desde el sistema **A** pero, aunque no lo dije explícitamente, conforme a los desarrollos de la Relatividad Especial (y como veremos en detalle en los próximos capítulos), durante todo el trayecto, **A1** observa que son los relojes del sistema **A** los que marchan más lentos que el suyo propio.

El final de esta experiencia simulada permite “comprobar” que **A2** tenía razón en sus observaciones. Los relojes de **A1** y **A2** estaban sincronizados al inicio de la experiencia, pero al final de la misma ambos observadores coinciden en apreciar que el reloj de **A1** marchó más lentamente.

Nota: Mientras **A1** iba al encuentro de **A2**, observaba que el reloj de **A2** marchaba más lentamente que el suyo. Sin embargo, cuando **A1** y **A2** se enfrentan, la observación de ambos relojes es directa pues coinciden en tiempo y espacio. Por lo tanto, **A1** no tiene más remedio que aceptar que su reloj es el que avanzó menos desde el inicio de la experiencia. En otras palabras, cuando **A1** se cruza con **A2**, y ambos están separados por unos pocos metros, ambos observadores podrían tomar una fotografía convencional que incluya a ambos relojes. Y esa foto mostraría que el reloj de **A2** marca un tiempo de 20 s mientras el de **A1** marca sólo 10 s.

De esta forma, dado que el reloj de **A1** marchó con un ritmo menor desde el momento de su aceleración, parecería que se rompe la equivalencia de los sistemas

inerciales, pues habríamos comprobado que los relojes del sistema **B** marchan realmente más lentos que los del sistema **A**.

Para evitar esta conclusión, en los textos clásicos, llegados a este punto es donde suele recurrirse a la Relatividad General aduciendo que el comportamiento del observador acelerado no entra dentro del campo de validez de la Relatividad Especial.

Veremos, sin embargo, que las cosas son más simples de lo que parecen. 😊

Terminada esta primera parte de la experiencia, veamos qué pasa si ahora son los observadores del sistema **B** los que deciden hacer el mismo experimento.

EXPERIMENTO RECÍPROCO SEGÚN LA RELATIVIDAD ESPECIAL

En este caso es poco lo que hay que comentar, dado que la equivalencia real de todos los sistemas inerciales conduce a una aburrida repetición de la experiencia, donde los observadores del sistema **B** logran “demostrar” que son los relojes de **A** los que marchan más lentos. Y, nuevamente, la aparente paradoja (cada sistema logra “demostrar” que los relojes del otro sistema marchan más lentos) no se analiza desde el punto de vista de la Relatividad Especial dado que, en una etapa de la experiencia, se aplican aceleraciones a uno de los observadores. Y, por supuesto, se repite la referencia a la Relatividad General para solucionar los aparentes problemas lógicos de la Relatividad Especial.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LA RELATIVIDAD ESPECIAL

La paradoja resultante entre el experimento directo y el recíproco, puede resultar difícil de apreciar para quienes llevan mucho tiempo “peleando” o “admitiendo” la Lógica Relativista. Por lo tanto quiero analizar estos resultados antes de discutir las consecuencias derivadas de que el mismo resultado se obtenga bajo un enfoque en el que los sistemas inerciales no son realmente equivalentes.

Podemos resumir los resultados alcanzados hasta ahora de la siguiente forma:

Mediante una sencilla experiencia imaginaria, hemos visto que los observadores del sistema inercial **A** pueden “demostrar” que los relojes del sistema **B** marchan más lentos que los de **A**. En el ejemplo elegimos una determinada velocidad relativa entre **B** y **A**, pero el valor absoluto de la velocidad es independiente del resultado cualitativo de la experiencia.

La experiencia es muy simple y consiste en enviar un reloj desde el sistema **A** hasta el sistema **B** y contrastar su ritmo de marcha con los relojes que permanecen en **A**. (*Nota: esta experiencia se ha llevado a cabo con relojes atómicos y es una de las demostraciones aceptadas de la validez de la Relatividad Especial*).

Posteriormente, aceptando la equivalencia real de todos los sistemas inerciales, la Relatividad Especial permite “demostrar” exactamente lo contrario a lo que se determinó en el primer experimento. En otras palabras, los observadores del sistema **B** pueden hacer una experiencia en que “demuestran” que son los relojes de **A** los que marchan más lentos que los de **B**.

Ahora bien, los resultados obtenidos en uno y otro caso constituyen una paradoja pues, si la naturaleza permite “demostrar” dos cosas contradictorias y ambas tienen el mismo grado de certeza, el mundo físico parecería caótico.

Para visualizar mejor el análisis previo supongo que el amable lector convendrá conmigo en que si dos jugadores se enfrentan en un partido de tenis y ambos logran “demostrar” que ganaron el partido, resulta imposible realizar un campeonato de tenis. ☺

En consecuencia, una vez definida la paradoja, los defensores de la interpretación ortodoxa de la Relatividad Especial y su “lógica”, suelen emplear alguna variante de los siguientes argumentos:

1. La experiencia no es válida pues intervienen aceleraciones.
2. La paradoja desaparece si se analiza el experimento con la Relatividad General.

Sin embargo....

Quienes eligen una respuesta del tipo “1” olvidan que:

- En los aceleradores de partículas se demuestra que los objetos que alcanzan velocidades relativistas tienen relojes que realmente atrasan con respecto a los relojes estacionarios.
- En los análisis del “experimento” presentado en este capítulo, sólo se emplean observaciones hechas desde el sistema estacionario que permanece como inercial durante toda la experiencia

Y quienes eligen las respuestas tipo “2”, descubren que la paradoja se genera con cualquier respuesta que aporte la Relatividad General. En otras palabras, no hace falta adentrarse en Relatividad General para demostrar que ésta no puede resolver la paradoja. Cualquier respuesta que aporte la relatividad general (marcha más lenta durante la aceleración, en el viaje o como combinación de ambos fenómenos) deja en pie la paradoja. ☹

Veamos entonces la forma de obtener el mismo resultado y que no resulte paradójico.

EXPERIMENTO RECÍPROCO A PARTIR DE UN MRLE.

Los siguientes análisis constituyen una situación seguramente sorprendente para quienes los enfrentan por primera vez. En particular, resultarán más sorprendentes para quienes estén acostumbrados a manejar las “explicaciones” convencionales de la Relatividad Especial.

Aceptando la existencia de un **MRLE**, podemos considerar que la Fig. VI-1 es también una “instantánea” mágica que describe realmente el estado de cosas al inicio de la experiencia. Por supuesto que no sería ésta la situación que describirían los observadores del sistema **B**, (quienes, como se ha discutido en otras páginas, creen estar perfectamente sincronizados), pero la Fig. VI-1 sería lo que llamamos realidad objetiva de la situación.

Entonces, utilizando lo que llamamos “realidad objetiva de la situación” veamos qué pasa cuando los observadores **B1** y **B2** deciden seguir los mismos pasos

que siguieron antes **A1** y **A2**. En este caso es **B2** el que decide “acelerar” hasta hacerse solidario con el sistema **A** y cruzar por la posición de **B1** que permanece estacionario en su eje. (*Recordemos que desde el punto de los observadores del sistema **B**, es el sistema **A** el que se está desplazando y, por lo tanto, cuando **B2** salta al sistema **A** comienza a moverse hacia **B1***).

B1 y **B2**, están realmente separados por 8.66 segundos-luz (Fig. VI-1 que, como se postuló representa una instantánea mágica del experimento). Sin embargo creen (luego de “sincronizar” sus relojes en base a la “constancia” de la velocidad de la luz) que están separados por 17.32 segundos-luz.

L_B es, por lo tanto, la separación entre **B1** y **B2**, determinada por ellos mismos en base a la constancia de c . Esta medición arroja una distancia que, numéricamente, es el doble de la que se obtiene con la instantánea mágica. Para los observadores del sistema **A**, esta distancia (17.32 segundos-luz) es la que separa **A1** de **A2**.

La Fig. VI-5 muestra el estado inicial del experimento llevado a cabo por **B1** y **B2**. En ese momento **B1** cree que **B2** está saltando al eje **A**, puesto que el reloj de **B1** marca $t=00$ s, y ese fue el momento convenido para comenzar el experimento. Sin embargo **B2** está tomando el último sorbo de té con sus amigos pues, de acuerdo con su reloj, aún faltan 15 s para que deba realizar la operación convenida con **B1**.

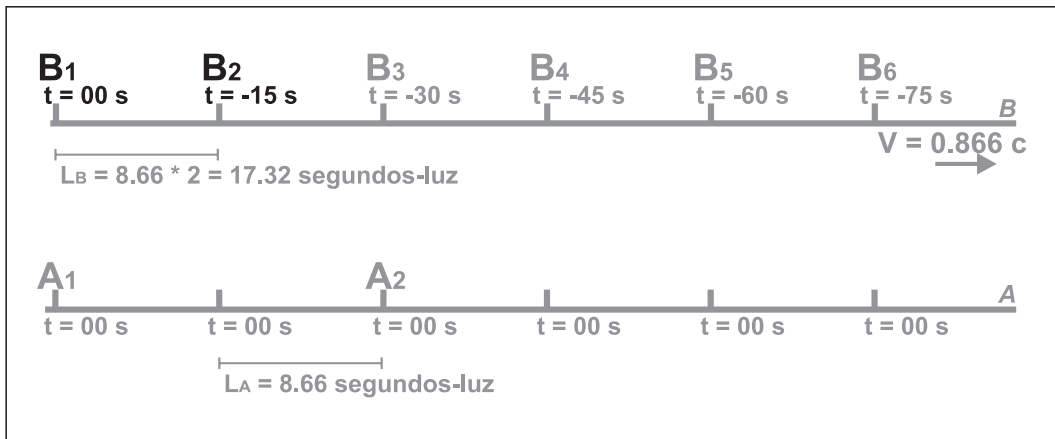


Fig. VI-5: Momento inicial del experimento que realizan **B1** y **B2**. **B1** cree que **B2** acaba de pasar al otro eje pues su reloj marca el instante convenido con **B2** para la operación. Además **B1** y **B2** creen estar separados por el doble de la distancia que realmente los separa.

Nota: Aunque nuevamente ninguno de los observadores involucrados en la experiencia “ve” directamente la imagen que se presenta en las figuras, podemos asumir que somos los observadores externos que, disponiendo de estas “fotografías” mágicas, vemos las cosas tal cual ocurren en realidad. Dado que el sistema **A** es solidario al **MRLE** su reconstrucción coincide con estas figuras, pero en los párrafos siguientes prefiero emplear la idea de que éstas son verdaderas “fotografías” no limitadas por la velocidad de la luz.

Cuando transcurren 5 s en el eje **B**, las cosas están como se muestra en la Fig. VI-6.

Todavía **B2** no debe cambiar de eje, de acuerdo con lo que marca su propio reloj. Por otra parte, **B1** cree que ya hace 5 s que **B2** se encuentra en el sistema A.

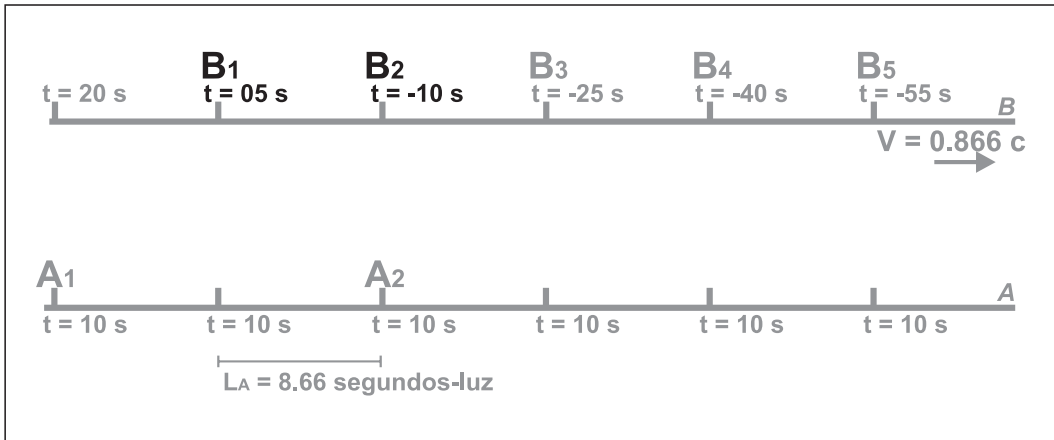


Fig. VI-6: **B1** cree que hace 5 s que **B2** se encuentra en el eje A.

Cuando transcurren otros 5 s las cosas están como se muestran en la Fig. VI-7. **B2** aún continúa en el sistema B

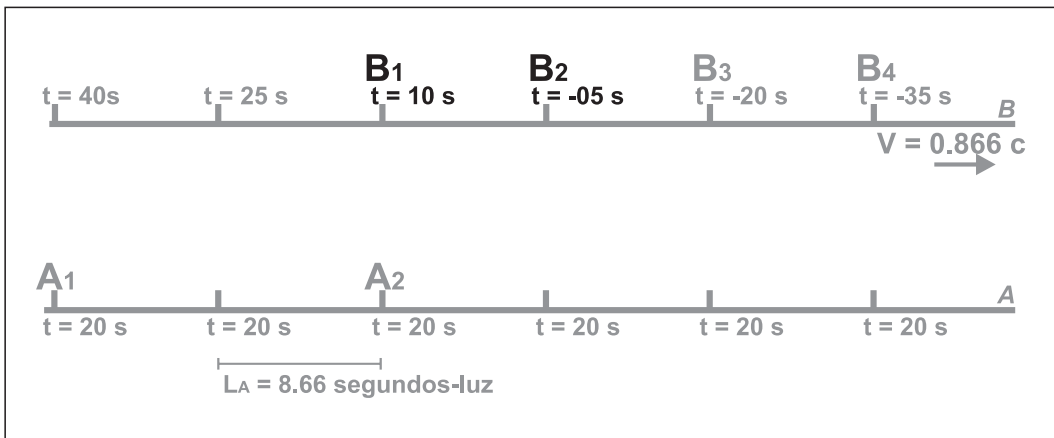


Fig. VI-7: El experimento continúa. Todavía **B2** no cambia de eje.

5 segundos más tarde (medidos en el sistema B) la situación es la que refleja la Fig. VI-8. Conforme a la lectura del reloj de **B2**, es el momento de cambiar de sistema.

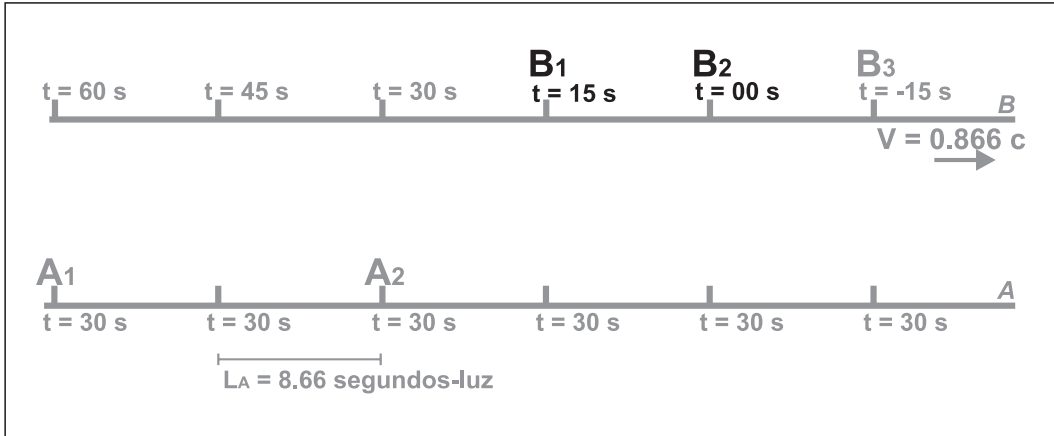


Fig. VI-8: El experimento continúa. Recién en este punto el reloj de **B2** marca $t = 00$. Es el momento de cambiar de eje.

La Fig. VI-9 registra el momento en que **B2** cambia de eje mediante una aceleración instantánea. **B1** cree que esta operación se produjo 15 segundos antes. A partir de este momento el reloj de **B2** comienza a marchar al doble del ritmo que tenía en el sistema **B**, siguiendo el comportamiento de todos los relojes realmente estacionarios (los del eje **A** solidario al **MRLE**).

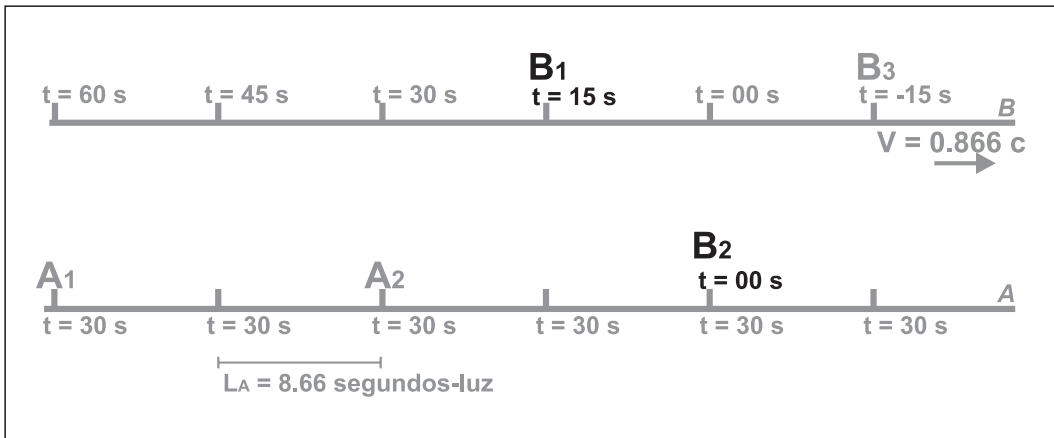


Fig. VI-9: **B2** cambia de eje. Aunque él no lo advierta, a partir de este momento el ritmo de su reloj se duplica.

La Fig. VI-10 registra el momento en que **B1** y **B2** se enfrentan. En ese instante el reloj de **B1** marca **20** s Mientras que el reloj de **B2** indica sólo 10 s.

De este modo, al final de la experiencia todo parece indicar que **B1** y **B2** han podido demostrar que los relojes que viajan a $0.866 c$, con respecto al eje **B** marchan más lentos que los relojes que permanecen en el eje **B**. 😊

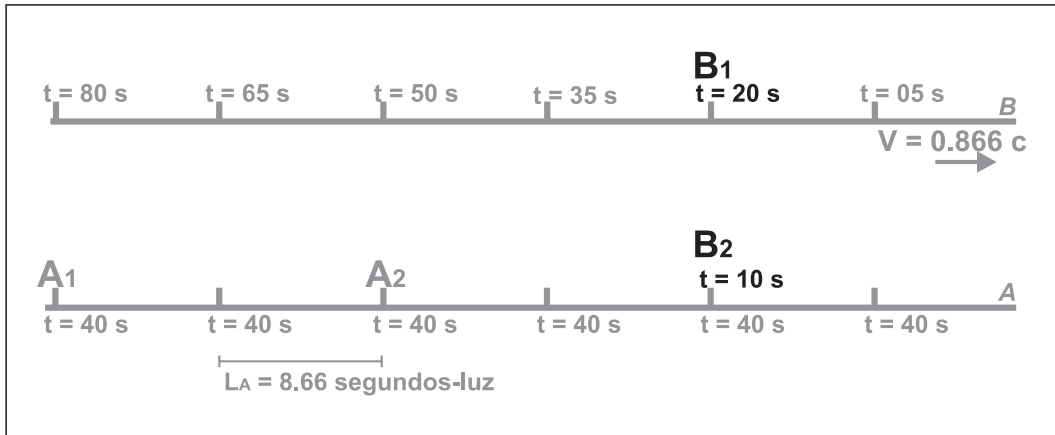


Fig. VI-10: Cuando se enfrentan, B1 y B2 pueden verificar que, a lo largo del experimento, el reloj de B2 avanzó la mitad del intervalo temporal que registró el reloj de B1.

En otras palabras, partiendo de las mismas condiciones iniciales:

- Observadores separados por 17.32 segundos-luz.
- Inicio de la experiencia a $t = 00$.
- Aceleración instantánea de uno de los observadores hasta alcanzar una velocidad relativa de $0.866 c$ con respecto al eje de partida.

Llegan al mismo resultado que obtuvieron los observadores del sistema A.

- Mientras el reloj estacionario registró el paso de 20 s (correspondientes a una distancia de 17.32 segundos-luz, recorridos a $0.866 c$), el reloj acelerado avanzó sólo 10 s.

Resumen de la experiencia basada en un sistema con un MRLE

Empleando un sistema con **MRLE**, la experiencia analizada muestra que, tanto el sistema realmente estacionario como el sistema realmente en movimiento, son capaces de realizar experiencias que pongan de manifiesto que los relojes del otro sistema son los que marchan más lentos.

ANÁLISIS DE LA “PARADOJA”

Pregunta: Dado que con un **MRLE** hemos alcanzado exactamente el mismo resultado experimental que con la Relatividad Especial, ¿Eso significa que la paradoja persiste?

Respuesta: NO. 😊

.....

Respuesta Ampliada: El resultado de la experiencia genera una paradoja insoluble en la Relatividad Especial pues dicha teoría asigna igual grado de credibilidad a todos los observadores inerciales. De hecho la interpretación regular de la Relatividad Especial indica que la “realidad” son los propios datos experimentales. Y, con estas experiencias hemos obtenido dos juegos de datos, de excelente calidad

experimental, que resultan contradictorios. En un juego de datos se “demuestra” que los relojes del sistema **B** marchan más lentos que los de **A** y en el otro juego de datos se demuestra lo contrario.

Con un **MRLE** el resultado es sólo aparentemente paradójico, pues la misma construcción de la experiencia muestra que las observaciones del sistema **A** son reales y las del sistema **B** son sólo aparentes.

¡Y una paradoja aparente no es una paradoja!

En esta experiencia pasa lo mismo que con los observadores mencionados al comienzo de este capítulo. Cada uno ve al otro más pequeño que a sí mismo, pero eso no es paradójico pues existe una realidad subyacente que permite entender por qué ocurren las observaciones aparentemente inconsistentes.

***Ejemplo de Física Clásica:** Bajo la hipótesis de que para mantener el estado de movimiento de un cuerpo hace falta aplicar una fuerza permanente, resulta paradójico que la Tierra se mueva a elevada velocidad y que las piedras caigan, sin desviarse, desde la parte superior hasta el pie de las torres. Bajo la hipótesis del principio de inercia, el mismo resultado experimental no resulta paradójico.*

De hecho la descripción mediante **MRLE**, de la experiencia realizada, no plantea ninguna paradoja. Sólo muestra por qué la alteración real de longitudes y tiempos, en los sistemas realmente móviles, impide detectar el propio estado de movimiento. La mención de una situación paradójica obedece a la interpretación convencional de la Relatividad Especial que impide diferenciar los sistemas inerciales.

Las paradojas aparentes se resuelven mostrando cual es la observación real y cual la aparente.

En el ejemplo de los tenistas, para poder realizar el torneo es necesario descubrir cuál de los dos falsificó la documentación. Si las propias reglas del torneo impiden verificar este punto, es imposible determinar quién es el ganador de dicho torneo. La Relatividad Especial hace algo parecido al postular que la equivalencia de todos los sistemas inerciales es real. Un desarrollo con **MRLE** muestra que dicha equivalencia es sólo aparente. ¡Aunque no se pueda detectar la ubicación del propio **MRLE**!

LAS ACELERACIONES, LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y LOS SISTEMAS CON MRLE

Como se ve, empleando un **MRLE** no es necesario recurrir a la ayuda “mágica” de la Relatividad General para estudiar sistemas acelerados. La razón es muy simple.

Con un **MRLE** no hay paradojas. Por lo tanto los resultados obtenidos no resultan objetables.

Con la Relatividad Especial aparecen paradojas insolubles. Por lo tanto se invoca a la Relatividad General para que acuda al rescate o se niegan las paradojas (se las coloca bajo la alfombra) como “acto de fe”. Esta actitud impide, entre otras cosas el empleo de las ecuaciones de la Relatividad Especial para estudiar la aceleración desde el propio sistema acelerado. Y... tal como se vio, esa limitación no es necesaria.

En un **MRLE** las aceleraciones sólo cambian la velocidad de los sistemas y, por lo tanto, la marcha de los relojes. El resto es sólo apariencia. Muy convincente..., pero sólo apariencia.

DISCUSIONES ACLARATORIAS

En este capítulo se analizaron dos posibles interpretaciones de las ecuaciones que cuantifican los cambios en la marcha de los relojes y en las longitudes medidas entre sistemas en movimiento relativo.

La primera interpretación es la que, a esta altura de la historia de la física, puede denominarse “clásica” y es la que está asociada a la Relatividad Especial y, por lo tanto, a la equivalencia real de todos los sistemas inerciales. La segunda interpretación emplea un **Marco de Referencia Localmente Estacionario (MRLE)**, y conduce a una equivalencia sólo aparente (aunque muy convincente) de todos los sistemas inerciales.

Paradójicamente (esta expresión es sólo un chascarrillo) la solución pasa por volver a considerar como razonable la existencia de marcos de referencia privilegiados, justamente cuando el mayor logro conceptual, atribuido de la Relatividad Especial, es el de la eliminación de estos marcos. ☺

Durante el desarrollo se mostró que los resultados experimentales, en los sistemas inerciales con movimiento relativo, son los mismos para ambos modelos. “Sólo” la interpretación de dichos resultados varía con el modelo. Pero como dicha interpretación está asociada a lo que podríamos llamar la “estructura” o “funcionamiento interno” del universo, parece adecuado prolongar la discusión iniciada. Para ello voy a incluir algunas preguntas y comentarios generales y otros particulares, tomados de intercambios reales de opinión sobre análisis similares a los aquí presentados.

Comentario: En el desarrollo previo se emplean las transformadas de Lorentz para un sistema realmente estacionario, pero en ninguna parte se demuestra que estas transformadas puedan derivarse para un modelo basado en un **MRLE**.

Respuesta: Aunque quizás resulte sorprendente, no es necesario hacer la demostración de que las transformadas de Lorentz son obtenibles para un sistema con **MRLE**. Para obtener dichas transformadas suele comenzarse la demostración mediante frases del tipo “Imaginemos un sistema en reposo ...”, por lo que la primera parte de la demostración sería idéntica tanto para la Relatividad Especial como para un **MRLE**.

Más adelante, cuando en la derivación relativista se dice que en el sistema móvil también se cumple la constancia de c en todas direcciones, en una derivación con **MRLE** basta con decir que, aunque la velocidad de la luz no es constante en el sistema móvil, permitimos a dicho sistema realizar su sincronismo como si la velocidad de la luz fuera constante.

A modo de ejemplo voy a transcribir algunas de las expresiones empleadas por el propio Einstein durante la obtención de las transformadas de Lorentz en el trabajo de 1905.

Inicialmente dice Einstein

“... Tomemos dos sistemas de coordenadas en un espacio estacionario. Esto es: dos sistemas con tres

líneas materiales rígidas, perpendiculares entre sí y coincidentes en un punto. Tomemos como coincidente el eje X de ambos sistemas y tomemos como paralelos los ejes Y y Z respectivos ...”

Y, más adelante establece:

“... Ahora se imparte una velocidad constante v , al origen de uno de los dos sistemas (k) en la dirección de los valores crecientes de x del otro sistema (K), y se permite que esta velocidad sea comunicada a los ejes coordenados, las varillas de medición y los relojes ...”

Con lo que, hasta este punto, Einstein parte de dos sistemas en reposo y acelera instantáneamente uno de los ejes.

¡Oh!. ¿Reposo absoluto y aceleración en la Relatividad Especial? ☺

Y en algún momento, Einstein establece:

“... Pero el rayo se mueve relativo al punto inicial de k , cuando es medido en el sistema estacionario, con la velocidad $c-v$, de modo que ...”

¡Oh!.... ¡¿ $c-v$?!. ☺

¿No está diciendo Einstein que, visto desde el sistema estacionario, el rayo de luz se mueve a velocidad $c-v$ con respecto al sistema móvil?

Hasta este punto la descripción de Einstein coincide exactamente con lo que diría un observador fijo al **MRLE**.

Y, en otra parte del texto, cuando Einstein dice:

“... expresando en ecuaciones que la luz (tal como requiere el principio de constancia de la velocidad de la luz en combinación con el principio de relatividad) también se propaga con velocidad c cuando es medida en el sistema en movimiento ...”

Esta afirmación puede tomarse como que significa que la constancia de c en el sistema móvil es un resultado real o sólo aparente. Las ecuaciones del sistema móvil serían idénticas en ambos casos pues lo que se requiere es que el cálculo arroje el valor c .

Debe observarse (y no es trivial pues Einstein no solía desperdiciar palabras) que Einstein no dice sólo “... también se propaga con velocidad c ...” sino que escribe “... también se propaga con velocidad c cuando es medida en el sistema en movimiento ... “. Con lo que establece muy claramente que lo que se requiere es que el cálculo arroje el valor c y no que la velocidad de la luz sea realmente c .

La división de una distancia alterada por un tiempo alterado en la misma magnitud puede dar el mismo resultado numérico que una longitud no alterada dividida por un tiempo que tampoco fue alterado.

NOTA: En cualquier otra derivación de las transformadas de Lorentz puede

hacerse el mismo análisis, pero he preferido hacerlo sobre el texto de Einstein para que no parezca que intento manipular interpretaciones especiales.

Comentario: Pero... ¡El modelo con **MRLE** es contrario a la interpretación habitual de la Relatividad Especial!

Respuesta: Naturalmente. Con el modelo desarrollado, en los sistemas en movimiento:

- Los relojes atrasan realmente
- Las longitudes se acortan realmente.
- La velocidad de la luz sólo parece constante.
- La relatividad (equivalencia de sistemas inerciales) sólo es aparente.

Comentario: Pero... En definitiva estamos obteniendo los mismos resultados que se obtienen con la Relatividad Especial. ¿Para que desarrollar este modelo?

Respuesta: No son exactamente los mismos resultados. Sólo parecen ser los mismos. La diferencia es que en este modelo planteamos una realidad, que asumimos al aceptar el modelo: No le damos igualdad a todos los sistemas.

Pregunta: ¿Este modelo permite viajar a velocidades mayores que la de la luz?

Respuesta: NO! Tal como se plantea el modelo, dos objetos (o señales) pueden separarse realmente a una velocidad que puede alcanzar el valor $2c$. Pero con respecto al **MRLE** la máxima velocidad permitida es c pues suponemos que los objetos materiales están formados por constituyentes muy ligados al **MRLE**. Suponer que un objeto puede alcanzar velocidades mayores que c es equivalente a suponer que un tornado puede trasladarse a más velocidad que las moléculas del aire, cuando el propio tornado se sustentan en la coordinación de movimientos de las moléculas del aire.

Pregunta: ¿Este modelo es correcto o cumple sólo una función didáctica?

Respuesta: Desde mi punto de vista, este modelo es más adecuado para describir la realidad que el modelo que plantea la Relatividad Especial interpretada en forma convencional. Con este modelo, desde cualquier sistema inercial se obtienen las mismas ecuaciones que se derivan en la Relatividad Especial.

Además este modelo es más didáctico por la sencilla razón de que respeta el "sentido común". La Relatividad Especial no puede evitar las paradojas, por lo que resulta imposible de "entender" desde un punto de vista lógico.

Comentario: ¡Este modelo con un **MRLE** es un disparate! La Relatividad Especial explica el comportamiento del mundo físico y está demostrado que es una Teoría Verdadera.

Respuesta: De acuerdo. Este es el punto de vista de quienes aceptan la interpretación habitual de la Relatividad Especial y afirman que no genera paradojas. No tengo nada que acotar para quienes están convencidos de este punto de vista. Yo no logré compatibilizar la constancia verdadera de la velocidad de luz para todos los sistemas inerciales, con la lógica.

Por otro lado no está demostrado que la Relatividad Especial sea una teoría verdadera. Lo que está demostrado, más allá de cualquier duda razonable, es que sus ecuaciones son excelentes para describir el mundo físico. Y este modelo brinda las mismas ecuaciones y los mismos resultados.

Además la Relatividad Especial no es capaz de describir ni aceleraciones ni sistemas rotatorios, aunque sus fórmulas describen maravillosamente el comportamiento de los aceleradores de partículas en recorridos circulares. Este modelo no tiene esa restricción, ni ninguna otra asociada regularmente a variantes de la paradoja de los gemelos.

Pregunta: ¿Por qué es necesario un marco de referencia estacionario?

Respuesta: En realidad lo que hace falta es un medio que actúe de soporte para transmitir las ondas electromagnéticas. Afirmar simultáneamente que la velocidad de la luz no depende de la velocidad de la fuente y que no necesita un medio soporte para propagarse, lleva inevitablemente a paradojas.

Pregunta: Un sistema **C** que se mueva a la misma velocidad que el sistema **B**, pero en sentido contrario ¿tendría los relojes sincronizados con el sistema **B**?

Respuesta: NO. Los relojes marcharían a la misma velocidad, pero no habría forma de que todos los observadores enfrentados vieran la misma lectura en los relojes del otro eje. El sincronismo interno del sistema **B**, obliga a que los relojes estén cada vez más atrasados en el sentido del desplazamiento del sistema. Y, en el eje **C**, el sentido del desplazamiento está invertido.

COMENTARIO FINAL Y CONCLUSIONES

Los análisis presentados en este capítulo podrían resumirse diciendo que, tanto si los sistemas inerciales son realmente o aparentemente equivalentes, las ecuaciones que describen las interacciones físicas son idénticas. Sin embargo, la equivalencia real de los sistemas inerciales conduce a paradojas verdaderas en tanto que la equivalencia aparente elimina todo tipo de paradojas.

Lo que muestra el experimento recíproco basado en **MRLE** es que, por más que se postule la existencia de **MRLE**, estos no pueden ponerse de manifiesto mediante experiencias electromagnéticas.

La conclusión a que conducen estos análisis es que no es necesario poner en un pie de igualdad a todos los sistemas inerciales, para explicar las interacciones electromagnéticas entre observadores móviles. Aunque se produzcan deformaciones verdaderas de longitudes y tiempos, si éstas se producen de forma tal que su cociente permanezca constante (respetando las transformadas de Lorentz), resulta imposible detectarlas desde el propio sistema alterado. Aún más, desde el sistema realmente alterado se ve deformado al sistema que no lo está.