
Ejercicios de Normalización

Ejercicio #1:

“Un profesor puede dictar diferentes cursos de una o varias materias. Para cada Materia, el Instituto permite utilizar un conjunto diferentes libros, y cada profesor debe decidir qué libro va a utilizar para dictar los cursos de una misma materia.”

Partiendo del siguiente Esquema Relacional:

Cursos = (Prof#, Profesor, Mat#, Materia, Aula, Horario, Libro, Editorial)

Apliquemos el proceso de Normalización.

1) Identifiquemos las Dependencia Funcionales

- a) **Prof# → Profesor**
- b) **Mat# → Materia**
- c) **Prof#, Mat# → Libro, Editorial**
- d) **Prof#, Mat#, Horario → Aula**
- e) **Libro → Editorial**

2) Veamos los Conjuntos de Cierre de cada una:

- a) **(Prof#)⁺ = Prof#, Profesor**
- b) **(Mat#)⁺ = Mat#, Materia**
- c) **(Prof#, Mat#)⁺ = Prof#, Profesor, Mat#, Materia, Libro, Editorial**
- d) **(Prof#, Mat#, Horario)⁺ = Prof#, Profesor, Mat#, Materia, Horario, Aula, Libro, Editorial**
- e) **(Libro)⁺ = Libro, Editorial**

3) Identifiquemos las Llaves Candidatas

El único Conjunto de Cierre que contiene todos los atributos de la Relación es:

(Prof#, Mat#, Horario)⁺ = Prof#, Profesor, Mat#, Materia, Horario, Aula, Libro, Editorial

Por lo que **(Prof#, Mat#, Horario)** es la única Super Llave de la Relación

4) ¿En qué Forma Normal está esta Relación?

1NF → La Forma de Los Grupos Repetitivos

No hay Grupos Repetitivos en la Relación, por lo tanto, está en Primera Forma Normal.

2NF → La Forma de la Dependencia Funcional Completa

Como existe una Llave Compuesta, debemos verificar que ningún atributo dependa de sólo una parte de esta Llave.

Vemos inmediatamente que, en la primera Dependencia Funcional, el atributo “*Profesor*” depende únicamente del atributo “*Prof#*”, por lo tanto, no hay una Dependencia Funcional Completa de la Llave (*Prof#*, *Mat#*, *Horario*) y la Relación no está en Segunda Forma Normal.

5) Comencemos el proceso de Normalización:

Vimos que “*Prof#* → *Profesor*” viola la Segunda Forma Normal, así que movamos esta dependencia a otra Relación y eliminemos los atributos no primos de la Relación Cursos:

Profesores = (*Prof#*, *Profesor*)

Cursos = (*Prof#*, *Mat#*, *Materia*, *Aula*, *Horario*, *Libro*, *Editorial*)

Las Dependencias Funcionales “*Mat#* → *Materia*” y “*Prof#*, *Mat#* → *Libro*, *Editorial*” también violan la Segunda Forma Normal, así que procedemos de la misma manera:

Materias = (*Mat#*, *Materia*)

Profs_Mats = (*Prof#*, *Mat#*, *Libro*, *Editorial*)

Profesores = (*Prof#*, *Profesor*)

Cursos = (*Prof#*, *Mat#*, *Aula*, *Horario*)

La Dependencia Funcional “*Libro* → *Editorial*”, ha desaparecido de la Relación “*Cursos*” y se ha “movido” a la Relación “*Profs_Mats*”. Veamos esta Relación:

Profs_Mats = (*Prof#*, *Mat#*, *Libro*, *Editorial*)

Sabemos que la Llave de esta Relación es “*Prof#*, *Mat#*” y vemos interesantemente que el atributo “*Editorial*” no depende de una parte de la Llave Primaria, es decir:

Prof# ↛ *Editorial* y *Mat#* ↛ *Editorial*

Por lo tanto, la Dependencia Funcional “*Libro* → *Editorial*” no está en violación de la Segunda Forma Normal.

Veamos todas las Relaciones que tenemos por los momentos:

Materias = (Mat#, Materia)
Profesores = (Prof#, Profesor)
Profs_Mats = (Prof#, Mat#, Libro, Editorial)
Cursos = (Prof#, Mat#, Aula, Horario)

Todas tienen una Llave Primaria y ninguna tiene Grupos Repetitivos, por lo que están en Primera Forma Normal.

En ninguna de ellas hay algún atributo que dependa únicamente de una Parte de la Llave Primaria y por lo tanto todas están en Segunda Forma Normal.

6) Sigamos Normalizando

3NF → La Forma de la Dependencia Funcional Transitiva.

Vemos que en las Relaciones “Materias”, “Profesores” y “Cursos” no puede haber Dependencias Funcionales Transitivas ya que tienen un solo atributo no primo. Por lo tanto, están en 3FN.

Veamos la Relación “Profs_Mats”:

Profs_Mats = (Prof#, Mat#, Libro, Editorial)

Las Dependencia Funcionales que aplican a esta Relación son:

Prof#, Mat# → Libro, Editorial
Libro → Editorial

Y es muy evidente que hay una relación de transitividad entre ellas. Sin embargo, con ánimos de ejercitar, hagamos un paso más y calculemos el Cierre Canónico de estas dependencias:

Dividiendo la primera Dependencia Funcional, nos quedan:

- a) Prof#, Mat# → Libro
- b) Prof#, Mat# → Editorial
- c) Libro → Editorial

El Conjunto de Cierre de “a” es:

(Prof#, Mat#)⁺ = Prof#, Mat#, Libro, Editorial

Si calculamos de nuevo el Conjunto de Cierre, pero sin considerar “a”, obtenemos:

$$(\text{Prof\#}, \text{Mat\#})^+ = \text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Editorial}$$

Como ha habido “pérdida” de información, concluimos que “a” es una Dependencia Funcional Esencial.

Continuamos ahora con el Cierre de “b”:

$$(\text{Prof\#}, \text{Mat\#})^+ = \text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro}, \text{Editorial}$$

Obviando “b” y calculando de nuevo, obtenemos el mismo resultado:

$$(\text{Prof\#}, \text{Mat\#})^+ = \text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro}, \text{Editorial}$$

Por lo que concluimos que “b” no es esencial y puede ser eliminada, quedando nuestras Dependencias Funcionales como:

$$\text{Prof\#}, \text{Mat\#} \rightarrow \text{Libro} \text{ y } \text{Libro} \rightarrow \text{Editorial}$$

donde se hace mucho más evidente la Transitividad.

Eliminemos esa Transitividad moviendo a una nueva Relación la Dependencia Transitiva que viola la 3NF y eliminando el atributo no primo de la Relación original:

$$\begin{aligned} \text{Libros} &= (\text{Libro}, \text{Editorial}) \\ \text{Profs_Mats} &= (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro}) \end{aligned}$$

7) Hasta ahora tenemos las siguientes Relaciones y sus Dependencias Funcionales:

$$\begin{aligned} \text{Materias} &= (\text{Mat\#}, \text{Materia}) \\ &\quad \text{Mat\#} \rightarrow \text{Materia} \\ \text{Profesores} &= (\text{Prof\#}, \text{Profesor}) \\ &\quad \text{Prof\#} \rightarrow \text{Profesor} \\ \text{Cursos} &= (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Aula}, \text{Horario}) \\ &\quad \text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Horario} \rightarrow \text{Aula} \\ \text{Libros} &= (\text{Libro}, \text{Editorial}) \\ &\quad \text{Libro} \rightarrow \text{Editorial} \\ \text{Profs_Mats} &= (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro}) \\ &\quad \text{Prof\#}, \text{Mat\#} \rightarrow \text{Libro} \end{aligned}$$

Vemos que cada uno de los determinantes de las Dependencias Funcionales es una Super Llave, por lo tanto, todas las Relaciones están en la Forma Normal de Boyce y Codd (BCNF)

También notamos que no hay Dependencias Funcionales Multi-Valuadas y por lo tanto las Relaciones también están en Cuarta Forma Normal (4NF).

8) Hay, tal vez, una restricción que no hemos tomado en cuenta aún.

El enunciado nos dice que:

“[...]cada profesor debe decidir qué libro va a utilizar para dictar los cursos de una misma materia”

por lo que es cierto que:

Prof#, Mat# → Libro

ya que el mismo profesor no pudiera usar diferentes libros para dictar cursos de la misma materia, pero sí para materias diferentes. Igualmente, distintos profesores pudieran usar distintos libros para la misma materia, por lo que es necesario saber el Profesor y la Materia para poder determinar el libro que se está usando.

Sin embargo, el enunciado también impone una restricción a esta decisión y es que:

“Para cada Materia, el Instituto permite utilizar un conjunto de diferentes libros.”

por lo que es sano pensar que estos conjuntos son (o al menos pudieran ser) distintos para cada materia.

Supongamos por un momento el siguiente escenario:

Hay sólo 2 profesores y ambos dictan las únicas 2 materias del Instituto (en ningún lugar dice que un Profesor no puede dictar más de una materia). Para cada una de estas materias el Instituto permite usar 1 único libro. Tenemos una situación como la siguiente:

Profesor	Materia	Libro
Diego Pérez	Matemática I	Aritmética de Baldor
Diego Pérez	Física I	Introducción a la Física
Clara Aguirre	Matemática I	Aritmética de Baldor
Clara Aguirre	Física I	Introducción a la Física

Es decir que cada profesor dicta las materias:

Profesor	Materia
Diego Pérez	Matemática I
Diego Pérez	Física I
Clara Aguirre	Matemática I
Clara Aguirre	Física I

y a su vez cada Profesor utiliza los libros

Profesor	Libro
Diego Pérez	Aritmética de Baldor
Diego Pérez	Introducción a la Física
Clara Aguirre	Aritmética de Baldor
Clara Aguirre	Introducción a la Física

¿Pudiéramos con estas dos proyecciones reconstruir la Relación Original?

Si tratáramos de hacer una Unión Natural sobre el dominio común “Profesor”, terminaríamos con una Relación totalmente diferente:

Profesor	Materia	Libro
Diego Pérez	Matemática I	Aritmética de Baldor
Diego Pérez	Matemática I	Introducción a la Física
Diego Pérez	Física I	Aritmética de Baldor
Diego Pérez	Física I	Introducción a la Física
Clara Aguirre	Matemática I	Aritmética de Baldor
Clara Aguirre	Matemática I	Introducción a la Física
Clara Aguirre	Física I	Aritmética de Baldor
Clara Aguirre	Física I	Introducción a la Física

Y esto se debe a que, si bien no hay una restricción entre Profesores y Materias, si la hay entre Materias y Libros, así que sería preferible agregar a nuestro esquema una Relación que plasme esta restricción:

$\text{Mats_Libros} = (\text{Mat\#}, \text{Libro})$

Pareciera por este ejemplo que hay una Dependencia de Unión Natural en la Relación $\text{Profs_Mats} = (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro})$ y que por lo tanto no está en 5NF, pero esto es solamente porque hemos escogido para el ejemplo que sólo hay 1 libro por cada materia. Haz el mismo proceso con 2 libros por Materia y verás que la Relación si está en 5NF.

En este punto, podemos decir que dado el enunciado del ejercicio hemos logrado un muy buen Esquema Relacional, dado por las Relaciones:

$\text{Materias} = (\text{Mat\#}, \text{Materia})$
 $\text{Profesores} = (\text{Prof\#}, \text{Profesor})$
 $\text{Cursos} = (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Aula}, \text{Horario})$
 $\text{Libros} = (\text{Libro}, \text{Editorial})$
 $\text{Profs_Mats} = (\text{Prof\#}, \text{Mat\#}, \text{Libro})$
 $\text{Mats_Libros} = (\text{Mat\#}, \text{Libro})$

La respuesta a los ejercicios siguientes, se encuentran a partir de la página siguiente.

Ejercicio #2:

Se desea llevar hasta la Tercera Forma Normal el siguiente Esquema Relacional:

Facturas (Fact#, Fecha, Cliente#, Nombre, País, Estado, Telf. Hab, Telf. Ofc, Telf. Cel, Fax, Prod#, Producto, Cantidad, Precio)

Sabiendo que el Nombre de un Producto nunca cambiará, sin embargo, su precio si puede variar de una factura a otra.

Ejercicio #3:

¿Está la siguiente Relación en Quinta Forma Normal (5NF)?

Distribuidora	Restaurant	Productos
Esparta	La Floresta	Vegetales
Esparta	Artemisa	Cárnicos
La Joya	La Floresta	Vegetales
La Joya	Artemisa	Vegetales

Ejercicio #4:

Dada la Relación $R_1 = (A, B, C, D, E)$ y sus Dependencias Funcionales: $D \rightarrow B$ y $CE \rightarrow A$

¿Está esta Relación en la Forma Normal de Boyce y Codd?

Si no lo está, ¿qué debemos hacer para llevar la Relación a BCNF?

Ejercicio #5:

Sea la relación $R = (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)$ y el conjunto de Dependencias Funcionales:

$AB \rightarrow C$, $A \rightarrow DE$, $B \rightarrow F$, $F \rightarrow GH$, $D \rightarrow IJ$, $B \rightarrow A$ y $H \rightarrow G$

Asumiendo que ya está en 1NF, seguir normalizando esta Relación.

Respuesta Ejercicio #2:

Se desea llevar hasta la Tercera Forma Normal el siguiente Esquema Relacional:

Facturas (Fact#, Fecha, Cliente#, Nombre, País, Estado, Telf. Hab, Telf. Ofc, Telf. Cel, Fax, Prod#, Producto, Cantidad, Precio, TotalFactura)

Identificación de DFs:

Fact# → Fecha, TotalFactura

Cliente# → Nombre, País, Estado, Telf. Hab, Telf. Ofc, Telf. Cel, Fax

Prod# → Producto

Fact#, Prod# → Cantidad, Precio

Si calculamos los Conjuntos de Cierre de estas Relaciones, veremos que no hay ninguna Super Llave, por lo que debemos usar una Dependencia Funcional Aumentada:

(Fact#, Cliente#, Prod#)

1NF: Grupos Repetitivos

Evidentemente, los campos de Teléfonos (incluido el Fax) forman un grupo repetitivo. Los movemos a otra Relación junto con su Determinante y los eliminamos de la Relación original:

Teléfonos (Cliente#, Telf. Hab, Telf. Ofc, Telf. Cel, Fax)

Agreguemos una Llave Suplente a esta nueva Relación, ya que se ha vuelto a Generar un grupo Repetitivo:

Notemos que, en la Relación Original, no se habla de Télf1, Télf2, etc... sino que se especifican tipos de Télf.

Teléfonos (Cliente#, Tipo Télf., Teléfono)

Cliente#, Tipo Télf. → Teléfono

Facturas (Fact#, Fecha, Cliente#, Nombre, País, Estado, Prod#, Producto, Cantidad, Precio, TotalFactura)

Fact# → Fecha, TotalFactura

Cliente# → Nombre, País, Estado

Prod# → Producto

Fact#, Prod# → Cantidad, Precio

Fact#, Cliente#, Prod# → Fecha, Nombre, País, Estado, Producto, Cantidad, Precio, TotalFactura

2NF: Dependencia Funcional Completa

Vemos que en la Relación **Teléfonos** el único atributo no primo es precisamente el “Teléfono”, y depende totalmente de la Llave Primaria que ese “Cliente#, Tipo Téf”.

En la Relación Facturas, la cosa cambia bastante:

Nombre, País y Estado dependen únicamente de Cliente#

Clientes (Cliente#, Nombre, País, Estado)

El Nombre del Producto depende sólo de su código (Recordemos que el enunciado dice que el nombre nunca cambiará, mientras que el precio sí)

Productos (Prod#, Producto)

Los campos Cantidad y Precio dependen de cada Producto que se vende en cada Factura (de nuevo recordando que el mismo producto en distintas Facturas puede tener diferentes precios)

Detalles (Fact#, Prod#, Cantidad, Precio)

Y los únicos campos que restan son Fecha y TotalFactura que son determinados por Fact#

Facturas (Fact#, Fecha, TotalFactura)

Es fácil ver que estas Relaciones están en 1NF ya que no hay Grupos Repetitivos y de ellas la única que contiene una Llave Compuesta es:

Detalles (Fact#, Prod#, Cantidad, Precio)

¿Es Completa la Dependencia Funcional Fact#, Prod# → Cantidad, Precio?

Pues el mismo producto puede ser vendido en cantidades diferentes en diferentes facturas y sobre el precio ya hablamos. Así que es una Dependencia Funcional Completa y la Relación está en 2NF al igual que el resto de las Relaciones.

3NF: Dependencia Funcional Transitiva

Tenemos que evaluar si hay algún atributo no primo que depende de otro atributo no primo y no de la Llave Primaria.

Las Relaciones **Productos** (Prod#, Producto) y **Teléfonos** (Cliente#, Tipo Téf., Teléfono) tienen un solo atributo no primo y por lo tanto no puede haber Transitividad en ellas y ya están en 3NF.

En la Relación **Detalles** (Fact#, Prod#, Cantidad, Precio), pudiéramos asumir que mientras mayor sea la cantidad menor va a ser el precio... pero recordemos que la palabra clave para hallar una Dependencia Funcional es “Encontrar” y no “asumir”. Aunque en muchos Sistemas es común ver tablas de Precios dependientes de la Cantidad, las Reglas de este Negocio específico no dicen nada al respecto y por lo tanto no hay una Dependencia Transitiva entre la Cantidad y el Precio. La Relación está en 3NF.

La Relación **Facturas** (Fact#, Fecha, TotalFactura) es más sencilla aún. La inexistencia de la Transitividad es evidente. El total de una factura no depende para nada de la fecha en la que se generó y por lo tanto también está en 3NF.

Y, por último, veamos nuestra Relación **Clientes** (Cliente#, Nombre, País, Estado).

Aquí nos encontramos que, para un Estado cualquiera, podemos encontrar el País al que pertenece (lógicamente estamos hablando de códigos de estados y países estandarizados) por lo que existe la Dependencia funcional Estado→País que viola la 3NF y debe ser eliminada de la Relación, quedándonos:

Estados (Estado, País)

Clientes (Cliente#, Nombre, Estado)

Ambas Relaciones en 3NF.

Claro que pudiéramos ir un poco más allá y definir una estructura del tipo:

Clientes (Cliente#, Nombre, Estado)

Estados (Estado#, Nombre, etc..., País#) y **País** (País#, Nombre, etc...)

Pero no se nos ha pedido eso en el enunciado.

Así pues, nuestro Esquema hasta la Tercera Forma Normal queda definido por las Relaciones:

Facturas (Fact#, Fecha, TotalFactura)

Detalles (Fact#, Prod#, Cantidad, Precio)

Productos (Prod#, Producto)

Clientes (Cliente#, Nombre, Estado)

Teléfonos (Cliente#, Tipo Téf., Teléfono)

Estados (Estado, País)

Respuesta Ejercicio #3:

¿Está la siguiente Relación en Quinta Forma Normal (5NF)?

Distribuidora	Restaurant	Productos
Esparta	La Floresta	Vegetales
Esparta	Artemisa	Cárnicos
La Joya	La Floresta	Vegetales
La Joya	Artemisa	Vegetales

Para que una Relación esté en 5NF, lo más sencillo es verificar si hay una Dependencia de Proyección-Unión Natural en ella; es decir: ¿Es posible descomponer no-aditivamente esta relación en relaciones más pequeñas?

Veamos que podemos realizar las siguientes proyecciones de la Relación:

$R_1 = (\text{Distribuidora}, \text{Restaurant})$

Distribuidora	Restaurant
Esparta	La Floresta
Esparta	Artemisa
La Joya	La Floresta
La Joya	Artemisa

$R_2 = (\text{Distribuidora}, \text{Productos})$

Distribuidora	Productos
Esparta	Vegetales
Esparta	Cárnicos
La Joya	Vegetales

$R_3 = (\text{Restaurant}, \text{Productos})$

Restaurant	Productos
La Floresta	Vegetales
Artemisa	Cárnicos
Artemisa	Vegetales

Y ahora hagamos la Unión Natural de estas Proyecciones (Recordemos que el orden de las Uniones Naturales no tiene importancia... ¿puedes probarlo?)

$R_1 \bowtie R_2$ sobre el dominio Distribuidora:

Distribuidora	Restaurant	Productos
Esparta	La Floresta	Vegetales
Esparta	La Floresta	Cárnicos
Esparta	Artemisa	Vegetales
Esparta	Artemisa	Cárnicos
La Joya	La Floresta	Vegetales
La Joya	Artemisa	Vegetales

Bien, continuemos con R_3 para lo cual vamos a utilizar un código de colores que nos permita ver si una tupla cumple o no que la Unión Natural:

Restaurant	Productos
La Floresta	Vegetales
Artemisa	Cárnicos
Artemisa	Vegetales

$R_1 \bowtie R_2 \bowtie R_3$

Distribuidora	Restaurant	Productos
Esparta	La Floresta	Vegetales
Esparta	La Floresta	Cárnicos
Esparta	Artemisa	Vegetales
Esparta	Artemisa	Cárnicos
La Joya	La Floresta	Vegetales
La Joya	Artemisa	Vegetales

Y vemos que la tupla (Esparta, La Floresta, Cárnicos) debe ser eliminada, quedando:

Distribuidora	Restaurant	Productos
Esparta	La Floresta	Vegetales
Esparta	Artemisa	Vegetales
Esparta	Artemisa	Cárnicos
La Joya	La Floresta	Vegetales
La Joya	Artemisa	Vegetales

Ahora bien, ¿es esta Relación igual a la Relación original? No. No lo es.

La tupla (Esparta, Artemisa, Vegetales) está de más. Lo que significa que no existe una descomposición No-Aditiva y por lo tanto no hay una Dependencia de Unión Natural en la Relación y esta se encuentra en Quinta Forma Normal (5NF)

Respuesta Ejercicio #4:

Dada la Relación $R_1 = (A, B, C, D, E)$ y sus Dependencias Funcionales: $D \rightarrow B$ y $CE \rightarrow A$

¿Está esta Relación en la Forma Normal de Boyce y Codd?

Si no lo está, ¿qué debemos hacer para llevar la Relación a BCNF?

Veamos primero cuál es la Llave de esta Relación:

$(D)^+ = BD$ y $(CE)^+ = ACE$;

Si unimos los 2 Conjuntos de Cierre (o, mejor dicho: "Si aumentamos en D, la Dependencia Funcional $CE \rightarrow A$ "), tendremos que:

$(CDE)^+ = ABCDE$

Lo que convierte a **CDE** en una Super Llave.

BCNF requiere que en todas las Dependencias Funcionales el Determinante sea una Super Llave así que $D \rightarrow B$ viola la BCNF ya que D no es una Super Llave.

Movemos esta DF a una nueva Relación y nos quedan entonces:

$R_2 = (D, B)$ convirtiendo a D en una Super Llave, y $R_3 = (A, C, D, E)$

Ahora bien, $CE \rightarrow A$ también viola BCNF ya que CE no es una Super Llave. Dividiendo entonces $R_3 = (A, C, D, E)$ para quitar esa Dependencia, tenemos:

$R_4 = (C, E, A)$ convirtiendo a CE en una Super Llave, y

$R_5 = (C, E, D)$ eliminando A.

Y nuestro esquema nos queda: $R_2 = (D, B)$; $R_4 = (C, E, A)$ y $R_5 = (C, E, D)$

Con las tres Relaciones cumpliendo la Forma Normal de Boyce y Codd.

Pudiéramos ordenar todo para que luzca más organizado:

$R_1 = (B, D)$; $R_2 = (A, C, E)$ y $R_3 = (C, D, E)$

Respuesta Ejercicio #5:

Sea la relación $R = (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)$ y el conjunto de Dependencias Funcionales:

$AB \rightarrow C, A \rightarrow DE, B \rightarrow F, F \rightarrow GH, D \rightarrow IJ, B \rightarrow A$ y $H \rightarrow G$

Veamos si podemos eliminar alguna Redundancia de esas DFs, calculando una Base Canónica. Separemos primero las DFs:

- | | | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1) $AB \rightarrow C$ | 2) $A \rightarrow D$ | 3) $A \rightarrow E$ | 4) $B \rightarrow F$ | 5) $F \rightarrow G$ |
| 6) $F \rightarrow H$ | 7) $D \rightarrow I$ | 8) $D \rightarrow J$ | 9) $B \rightarrow A$ | 10) $H \rightarrow G$ |

1) AB^+ : ABCDEFGHIJ y si ignoramos $AB \rightarrow C$ entonces AB^+ : ABDEFGHIJ, luego $AB \rightarrow C$ es Esencial

2) A^+ : ADEIJ y si ignoramos $A \rightarrow D$ entonces A^+ : AE, luego $A \rightarrow D$ es Esencial

3) A^+ : ADEIJ y si ignoramos $A \rightarrow E$ entonces A^+ : ADIJ, luego $A \rightarrow E$ es Esencial

4) B^+ : ABCDEFGHIJ y si ignoramos $B \rightarrow F$ entonces B^+ : ABCDEIJ, luego $B \rightarrow F$ es Esencial

5) F^+ : FGH y si ignoramos $F \rightarrow G$ entonces F^+ : FHG, luego $F \rightarrow G$ es **NO** Esencial y la eliminamos:

- | | | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1) $AB \rightarrow C$ | 2) $A \rightarrow D$ | 3) $A \rightarrow E$ | 4) $B \rightarrow F$ | |
| 6) $F \rightarrow H$ | 7) $D \rightarrow I$ | 8) $D \rightarrow J$ | 9) $B \rightarrow A$ | 10) $H \rightarrow G$ |

Seguimos:

6) F^+ : FGH y si ignoramos $F \rightarrow H$ entonces F^+ : F, luego $F \rightarrow H$ es Esencial

7) D^+ : DIJ y si ignoramos $D \rightarrow I$ entonces D^+ : DJ, luego $D \rightarrow I$ es Esencial

8) D^+ : DIJ y si ignoramos $D \rightarrow J$ entonces D^+ : DI, luego $D \rightarrow J$ es Esencial

9) B^+ : ABCDEFGHIJ y si ignoramos $B \rightarrow A$ entonces B^+ : BFHG, luego $B \rightarrow A$ es Esencial

10) H^+ : HG y si ignoramos $H \rightarrow G$ entonces H^+ : H, luego $H \rightarrow G$ es Esencial

Revisemos si hay Redundancia en los Determinantes:

La única DF que tiene una Llave Compuesta es $AB \rightarrow C$.

Debemos calcular los cierres de $(AB-A)$ y $(AB-B)$ y ver si incluyen a C.

$(AB-A)^+ = B^+ : BFHAGDEIJ$ que no incluye a C, por lo que A no es redundante.

$(AB-B)^+ = A^+ : ADEIJ$ y no incluyen a C, por lo que no es redundante.

Uniendo todo, tenemos un cierre canónico:

$AB \rightarrow C$ $A \rightarrow DE$ $B \rightarrow AF$ $D \rightarrow IJ$ $F \rightarrow H$ $H \rightarrow G$

Veamos los cierres de los Determinantes:

$(AB)^+$: ABCDEFGHIJ = R

A^+ : ADEIJ

B^+ : ABCDEFGHIJ = R

D^+ : DIJ

F^+ : FGH

H^+ : GH

AB y B son Super Llaves, pero B es un Sub-Conjunto propio de AB, por lo que B es una Llave Candidata pero AB no lo es.

Sabemos que B es la única llave primaria de la Relación ($B^+ = R$) y no es una llave primaria Compuesta, por lo tanto, R está en 2da Forma Normal.

Veamos entonces que en $R = (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)$, se dan varias DF Transitivas, por ejemplo: $F \rightarrow H$ y $H \rightarrow G$, vamos a separarlas:

$R = (A, B, C, D, E, F, H, I, J)$ con DFs: $AB \rightarrow C$, $A \rightarrow DE$, $B \rightarrow AF$, $D \rightarrow IJ$, $F \rightarrow H$

$R_1 = (H, G)$ con DFs: $H \rightarrow G$

En R, podemos ver también $B \rightarrow AF$ y $F \rightarrow H$, así que al separarlas tenemos:

$R = (A, B, C, D, E, F, I, J)$ con DFs: $AB \rightarrow C$, $A \rightarrow DE$, $B \rightarrow AF$, $D \rightarrow IJ$

$R_1 = (H, G)$ con DFs: $H \rightarrow G$

$R_2 = (F, H)$ con DFs: $F \rightarrow H$

Seguimos con otra DF Transitiva. $A \rightarrow DE$ y $D \rightarrow IJ$, y también la separamos:

$R = (A, B, C, D, E, F)$ con DFs: $AB \rightarrow C$, $A \rightarrow DE$, $B \rightarrow AF$

$R_1 = (H, G)$ con DFs: $H \rightarrow G$

$R_2 = (F, H)$ con DFs: $F \rightarrow H$

$R_3 = (D, I, J)$ con DFs: $D \rightarrow IJ$

Veamos que con $B \rightarrow AF$ y $A \rightarrow DE$, también podemos hacer algo:

$R = (A, B, C, F)$ con DFs: $AB \rightarrow C$, $B \rightarrow AF$

$R_1 = (H, G)$ con DFs: $H \rightarrow G$

$R_2 = (F, H)$ con DFs: $F \rightarrow H$

$R_3 = (D, I, J)$ con DFs: $D \rightarrow IJ$

$R_4 = (A, D, E)$ con DFs: $A \rightarrow DE$

Y ya no hay más DFs transitivas (3FN).

Vemos que en $R = (A, B, C, F)$ con DFs: $AB \rightarrow C$, $B \rightarrow AF$

Los determinantes de las DFs (AB y B) son ambos Super Llaves (FNBC)

Y ordenando un poco:

$R = (B, A, C, F)$

$R_4 = (A, D, E)$

$R_2 = (F, H);$

$R_1 = (H, G)$

$R_3 = (D, I, J)$

