Laboratorio A.E.D. Laboratorio 4

Guillermo Román
guillermo.roman@upm.es

Lars-Åke Fredlund
larsake.fredlund@upm.es

Manuel Carro
manuel.carro@upm.es

Marina Álvarez
marina.alvarez@upm.es

Julio García
juliomanuel.garcia@upm.es

Tonghong Li
tonghong.li@upm.es

Sergio Paraíso
sergio.paraiso@upm.es

Juan José Moreno
juanjose.moreno@upm.es

Luis Miguel Danielsson
lm.danielsson@alumnos.upm.es

Normas

- Fechas de entrega y penalización asociada:

Hasta el martes 16 de noviembre, 12:00 horas	0 %
Hasta el miércoles 17 de noviembre, 12:00 horas	20 %
Hasta el jueves 18 de noviembre, 12:00 horas	40 %
Hasta el viernes 19 de noviembre, 12:00 horas	60 %

  Después la puntuación máxima será 0
- Se comprobará plagio y se actuará sobre los detectados.
- Usad las horas de tutoría para preguntar sobre programación – son oportunidades excelentes para aprender.

Entrega

- Todos los ejercicios de laboratorio se deben entregar a través de

  `http://vps142.cesvima.upm.es`

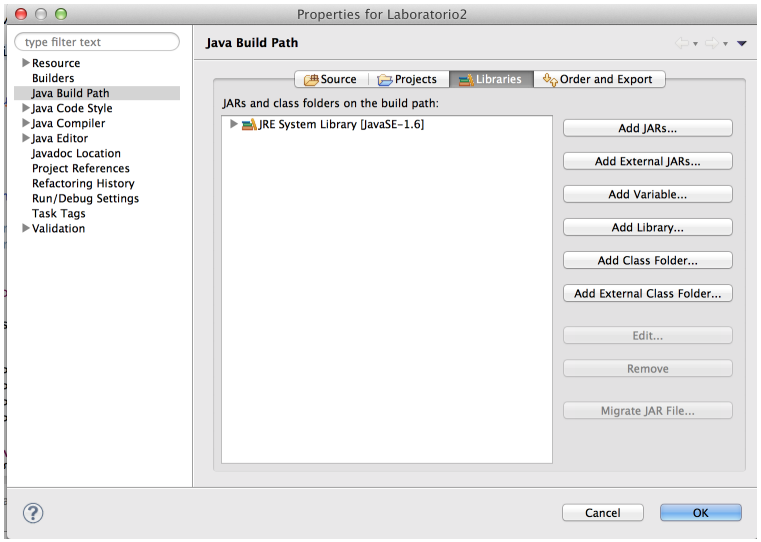
- Los ficheros que hay que subir es `HashTable.java`.

Configuración previa

- Arrancad Eclipse
- Podéis utilizar cualquier versión reciente de Eclipse. Es suficiente con que instaléis la *Eclipse IDE for Java Developers*.
- Cambiad a "Java Perspective".
- Debéis tener instalado al menos Java JDK 8.
- Cread un proyecto Java llamado `aed`:
  - Seleccionad separación de directorios de fuentes y binarios.
  - **No debéis elegir la opción de crear el fichero** `module-info.java`
- Cread un *package* `aed.hashtable` en el proyecto `aed`, dentro de `src`
- Aula Virtual → AED → Laboratorios → Laboratorio 4 → `Laboratorio4.zip`; descomprimidlo
- Contenido de Laboratorio4.zip:
  - `HashTable.java, TesterLab4.java`

Configuración previa

- Importad al paquete `aed.hashtable` los fuentes que habéis descargado (`HashTable.java, TesterLab4.java`)
- Si no lo habéis hecho, añadid al proyecto `aed` la librería `aedlib.jar` que tenéis en Moodle (en Laboratorios).

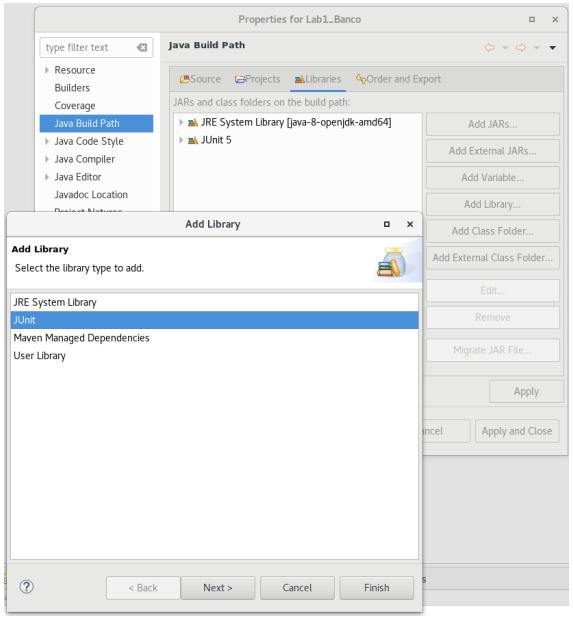


Para ello:

- Project → Properties → Java Build Path. Se abrirá una ventana como la de la izquierda
- Usad la opción "Add External JARs...".
- Si vuestra instalacion distingue `ModulePath` y `ClassPath`, instalad en `ClassPath`

Configuración previa

- Si no lo habéis hecho, añadid al proyecto `aed` la librería `JUnit 5`



Para ello:

- Project → Properties → Java Build Path. Se abrirá una ventana como la de la izquierda;
- Usad la opción "Add Library..." → Seleccionad "Junit" → Seleccionad "JUnit 5"
- Si vuestra instalación distingue `ModulePath` y `ClassPath`, instalad en `ClassPath`

- En la clase `TesterLab4` tenéis las pruebas, para ejecutarlas, abrid el fichero `TesterLab4`, pulsando el botón derecho sobre el editor, seleccionar "Run as..." → "JUnit Test"
- NOTA: Si al ejecutar no aparece la vista "JUnit", podéis incluirla en "Window" → "Show View" → "Java" → "JUnit"

Documentación de la librería aedlib.jar

- La documentación de la API de `aedlib.jar` esta disponible en `http://costa.ls.fi.upm.es/~entrega/aed/docs/aedlib/`
- También se puede añadir la documentación de la librería a Eclipse (*no es obligatorio*): en el "Package Explorer": "Referenced Libraries" → aedlib.jar y elige la opción "Properties". Se abre una ventana donde se puede elegir "Javadoc Location" y ahí se pone como "javadoc location path:"

  `http://costa.ls.fi.upm.es/~entrega/aed/docs/aedlib/`

  y presionar el buton "Apply and Close"

Tarea de hoy: implementar un *map* con una tabla de dispersión

- Un *map* es una estructura de datos que guarda valores (de tipo `V`) asociados a claves (de tipo `K`)
- Interfaz `Map`:

```
public interface Map<K,V> extends Iterable<Entry<K,V>> {
    public boolean isEmpty();
    public int size();
    public boolean containsKey(Object key);
    public V get(K key);
    public V put(K key, V value);
    public V remove(K key);
    public Iterable<K> keys();
    public Iterable<Entry<K,V>> entries();
}
```

Ejemplo de funcionamiento

```
HashTable<Integer,String> h =
    new HashTable<Integer,String>(5);  // size 5, key Integer,
                                       // value String
h.size();          =>  0       // returns number of entries
h.put(2,"Hola");   =>  null    // no previous value for key 2
h.put(2,"Hi");     =>  "Hola"  // returns the previous value
                               // for key 2
h.size();          =>  1       // only one value per key
h.get(3);          =>  null    // no value with key 3 exists
h.get(2);          =>  "Hi"
h.remove(2);       =>  "Hi"    // returns the value associated
                               // with the removed key
h.size();          =>  0       // The entry with key 2 was removed

h.put(1,"dulce"); h.put(5,"navidad");

Iterable<Integer> it = h.keys(); // returns iterable over keys
for(Integer i : h.keys()) {print(i);}   // prints 1 5
```

Tarea de hoy: implementar una "Hash Table"

- Completar `HashTable.java`: implementar *Map* con una "Hash Table" (tabla de dispersión) con "open addressing" para resolver colisiones.
- Atributo `buckets` dentro `HashTable.java`: almacena los datos de la "hash table" dentro un array:

  `Entry<K,V>[] buckets;`

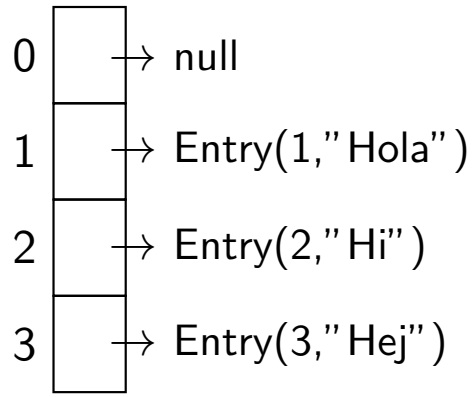
- Las celdas del array –los "buckets"– guardan "entradas" `Entry<K,V>` que asocian un valor (tipo `V`) con una clave (tipo `K`).
- Interfaz de `Entry`:

```
public interface Entry<K,V> {
  public K getKey();
  public V getValue();
}
```

- `EntryImpl` implementa el interfaz `Entry`. Tiene un constructor `EntryImpl(K key, V value)`.

Ejemplo Hash Table

- Supongamos que `buckets` tiene tamaño 4, las claves son de tipo `Integer` y los valores son de tipo `String`:



- Determinar dónde guardar `Entry`: calcular "hash" de clave y aplicar función de compresión para "reducirlo" al tamaño del vector.
- Por ejemplo:

$$index(key) \equiv abs(key.hashCode()) \ mod \ size(table)$$

- NOTA: Hay mejores funciones de compresión/dispersión

Ejemplo Calculo de Índices

Supongamos:

- Tamaño tabla $= 4$.
- Claves (n) son `Integer`.
- El *hash* de un entero es el mismo entero.

Integer(n)	n.hashCode()	index(n)
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	0
10	10	2

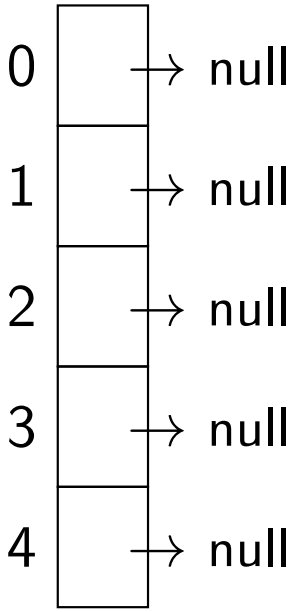
Inserción

Para insertar una clave y valor: *buscar el bucket libre mas cercano al lugar "preferido" por la clave*.

- Calcular indice del bucket donde debería ir la clave.
  - Si `buckets[indice]` esta vacío (`null`), insertamos allí.
  - Si no, recorremos el vector circularmente buscando el siguiente bucket vacío.
  - Si no hay ningun bucket vacio:
    - ★ Crear un array más grande.
    - ★ Insertar todas las entradas ahí.
    - ★ Repetir la búsqueda.
    - ★ Insertar (ahora sí debe haber espacio).

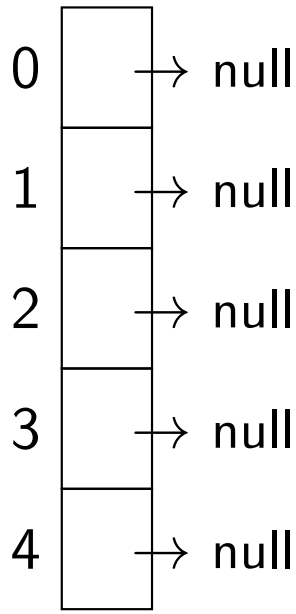
Simulacro insertar – "open addressing"

- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



Simulacro insertar – "open addressing"

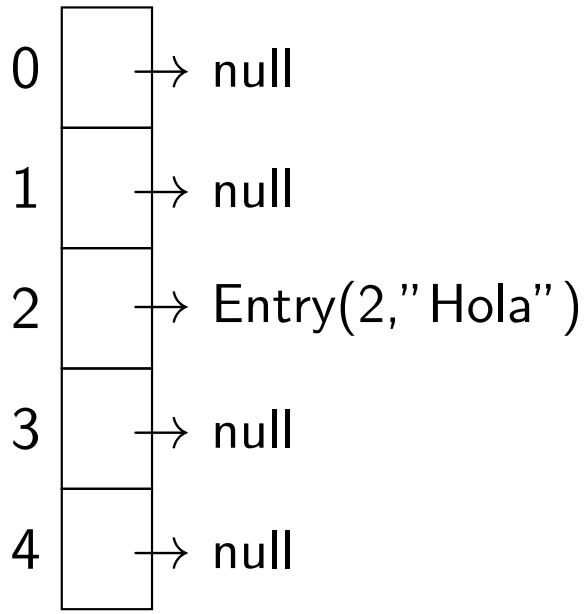
- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



- Llamada a `put(2,"Hola")`
- Calculamos el "bucket" donde debería estar:
  `index(2)` $\equiv 2$, porque `2.hashCode()` $\equiv 2$ y 2 *mod* $5 \equiv 2$

Simulacro insertar – "open addressing"

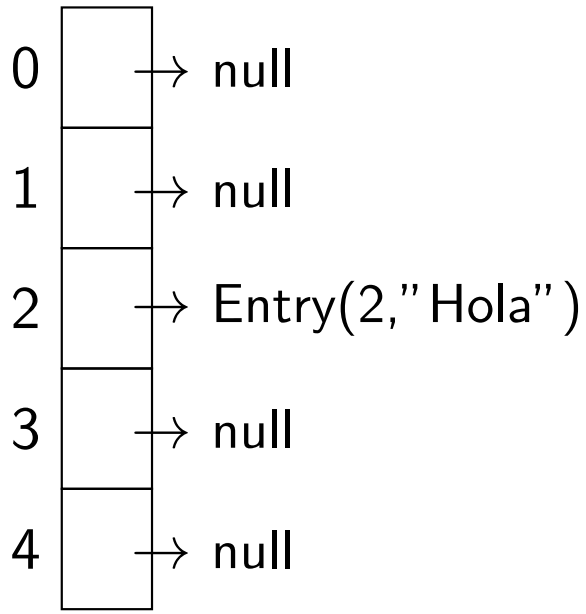
- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



- Llamada a `put(2,"Hola")`
- Calculamos el "bucket" donde debería estar:
  `index(2)` $\equiv 2$, porque `2.hashCode()` $\equiv 2$ y 2 *mod* $5 \equiv 2$
- Como el "bucket" 2 está vacío, insertamos `Entry(2,"Hola")` allí.

Simulacro insertar – "open addressing"

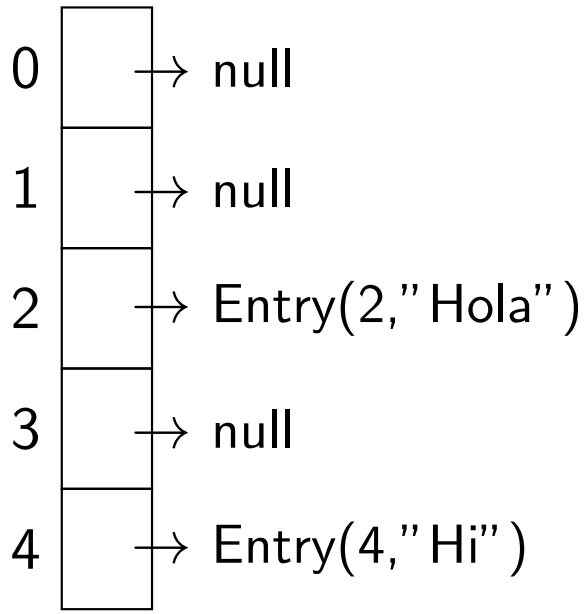
- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



- Llamada a `put(4,"Hi")`
- Calculamos donde debería estar el "bucket":
  `index(4)` $\equiv 4$, porque `4.hashCode()` $\equiv 4$ y 4 *mod* $5 \equiv 4$

Simulacro insertar – "open addressing"

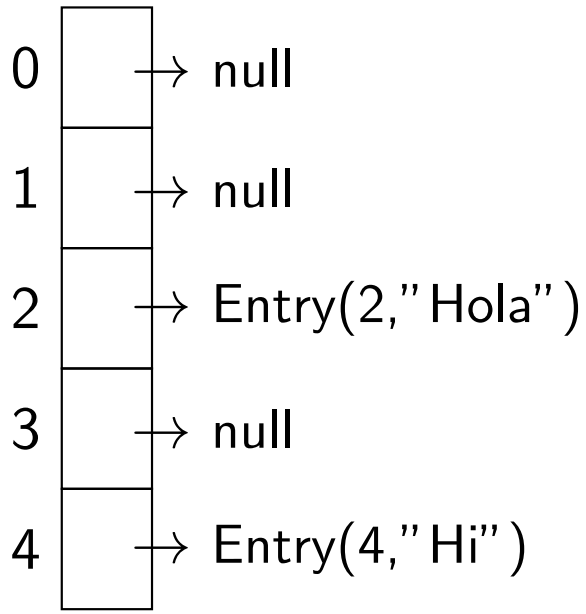
- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



- Llamada a `put(4,"Hi")`
- Calculamos donde debería estar el "bucket":
  `index(4)` $\equiv 4$, porque `4.hashCode()` $\equiv 4$ y 4 *mod* $5 \equiv 4$
- Como el "bucket" 4 está vacío, insertamos `Entry(4,"Hi")` allí.

Simulacro insertar – "open addressing"

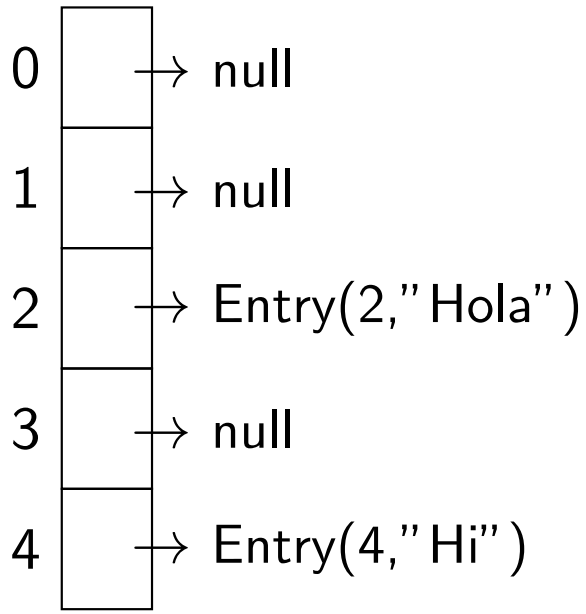
- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



- Llamada a `put(7,"Privet")`
- Calculamos en qué "bucket" debería estar:
  `index(7)` $\equiv 2$, porque `7.hashCode()` $\equiv 7$ y 7 *mod* $5 \equiv 2$

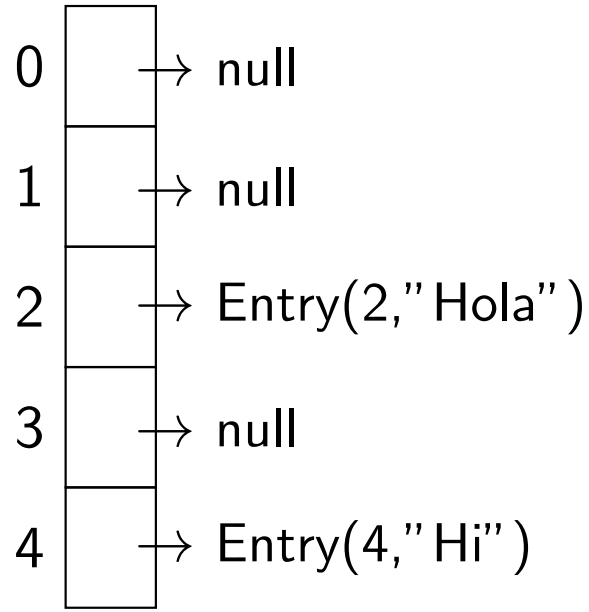
Simulacro insertar – "open addressing"

- Mostramos la inserción de claves y valores en una tabla de tamaño 5:



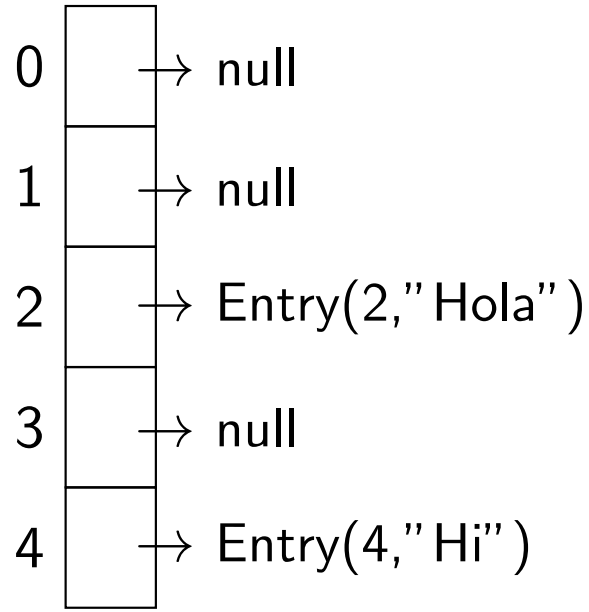
- Llamada a `put(7,"Privet")`
- Calculamos en qué "bucket" debería estar:
  `index(7)` $\equiv 2$, porque `7.hashCode()` $\equiv 7$ y 7 *mod* $5 \equiv 2$
- Intentamos insertar `Entry(7,"Hi")` en el "bucket" 2
- Pero "bucket" 2 no está vacío: *colisión*. ¿Qué hacer?

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



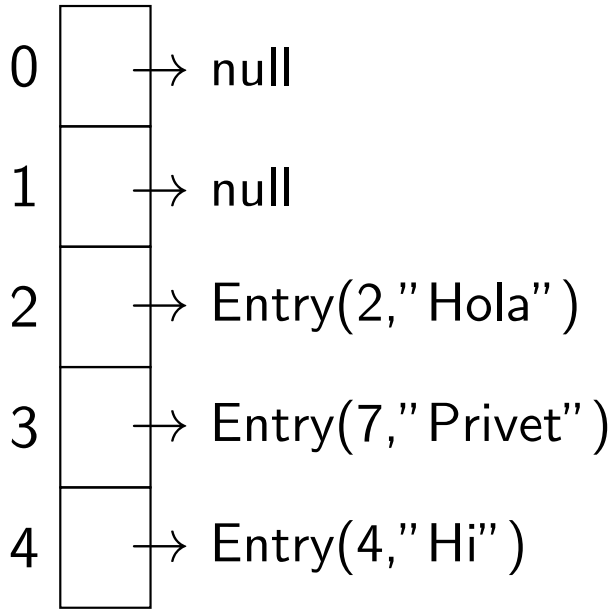
- **Idea**: localizar el primer "bucket" libre tras el bucket deseado e insertar la entrada ahí con una *búsqueda circular*.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



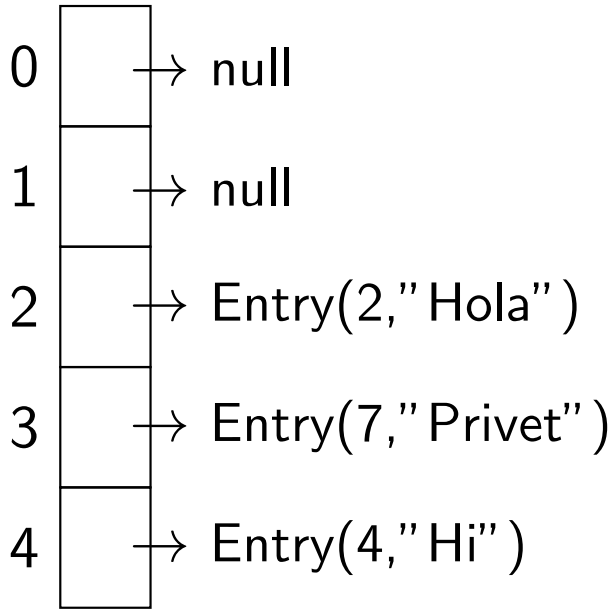
- **Idea**: localizar el primer "bucket" libre tras el bucket deseado e insertar la entrada ahí con una *búsqueda circular*.
- No podemos insertar `Entry(7,"Privet")` en el bucket 2, así que la insertamos en el siguiente bucket libre, el 3.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



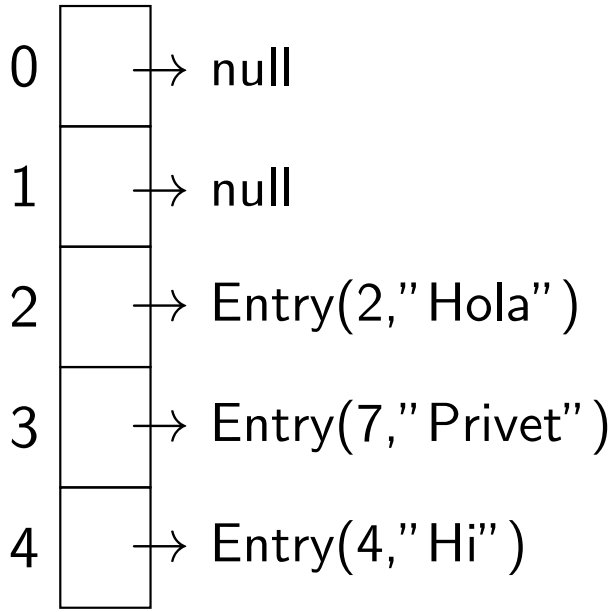
- **Idea**: localizar el primer "bucket" libre tras el bucket deseado e insertar la entrada ahí con una *búsqueda circular*.
- No podemos insertar `Entry(7,"Privet")` en el bucket 2, así que la insertamos en el siguiente bucket libre, el 3.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



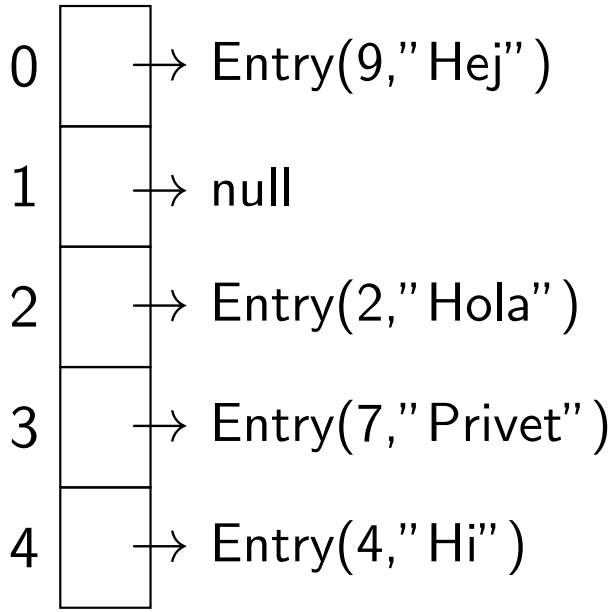
- Llamada a `put(9,"Hej")`.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



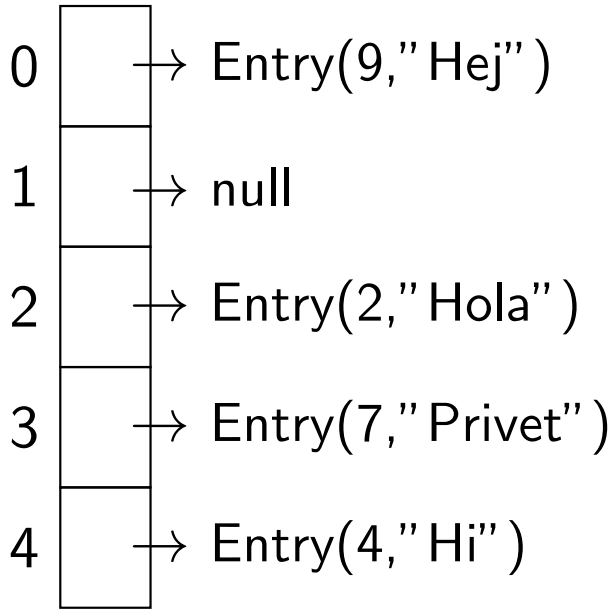
- Llamada a `put(9,"Hej")`.
- Su bucket preferido es 4, pero está ocupado. Buscamos el siguiente bucket libre, que es el 0 (recordad: búsqueda "circular").

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



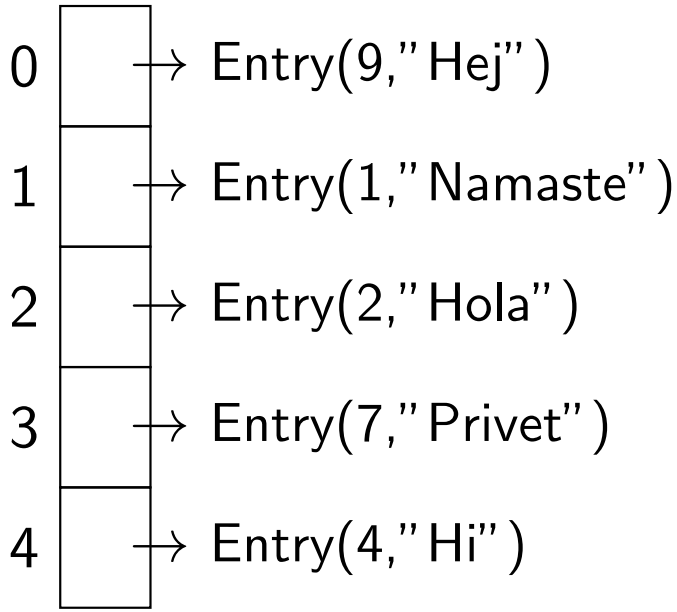
- Llamada a `put(9,"Hej")`.
- Su bucket preferido es 4, pero está ocupado. Buscamos el siguiente bucket libre, que es el 0 (recordad: búsqueda "circular").
- Insertamos Entry(9,"Hej") en bucket 0

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



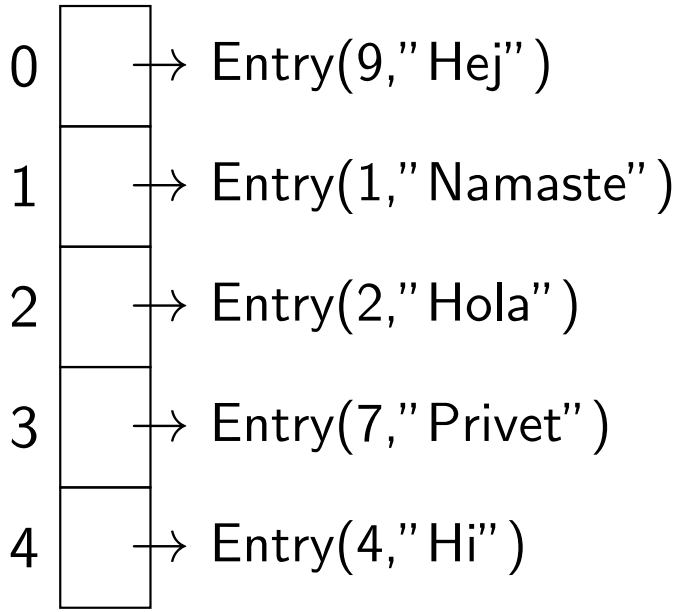
- Llamada a `put(1,"Namaste")` – su bucket preferido es 1, y no está ocupado. Lo insertamos.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



- Llamada a `put(1,"Namaste")` – su bucket preferido es 1, y no está ocupado. Lo insertamos.

Insertar: manejando colisiones – "open addressing"



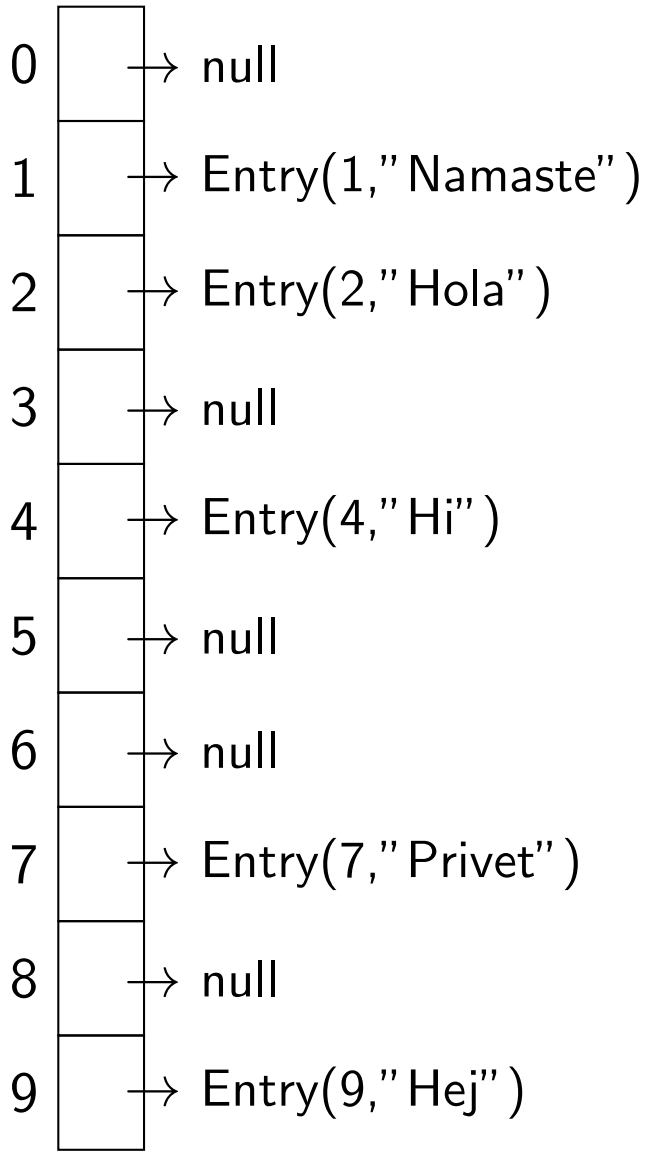
- Llamada a `put(12,"Salut")` – su bucket preferido es 2, y está ocupado — **todos los buckets están ocupados.** ¿Qué hacemos?

Insertar: todos buckets ocupados

- **Idea**: hacemos un "rehashing":
  - Crear otro array duplicando el tamaño del anterior.
  - Insertar en él los componentes del anterior usando el mismo procedimiento que antes.
  - Los índices de cada `Entry` pueden cambiar: el array tiene un tamaño distinto, y la función `index` debe tener en cuenta el tamaño de la tabla:

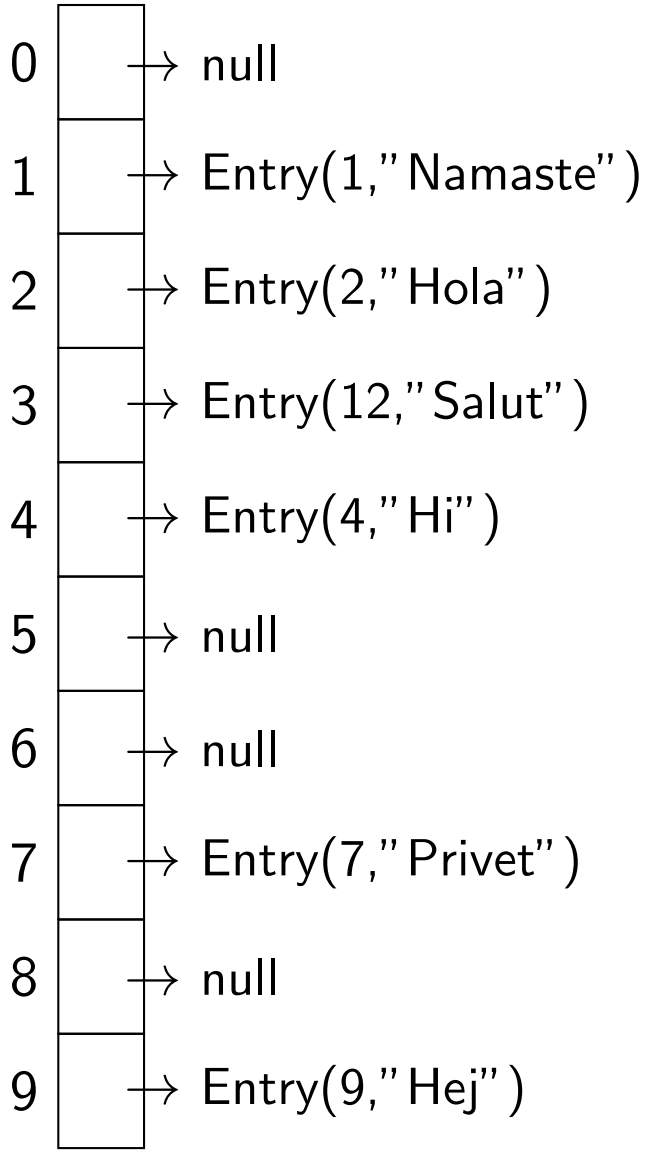
$$index(key) \equiv abs(key.hashCode()) \ modulo \ size(table)$$

Rehashing: resultado



Tras del "rehashing" insertamos `(12,"Salut")`:

Rehashing: resultado



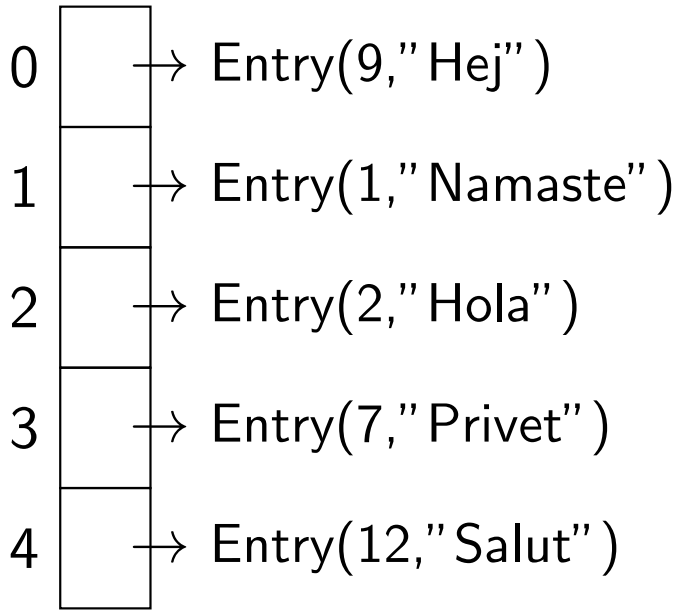
Búsqueda de una clave en la tabla

- Debe tener en cuenta que podría estar en lugar diferente de su bucket "preferido": podría haber habido colisiones en la inserción.
- Algoritmo:
  - Calcular *index*, el bucket preferido de la clave.
  - Asignar un variable $i = index$.
  - Repetir:
    - ★ Si `buckets[i]` está vacío, la clave no esté en la tabla.
    - ★ Si la clave de `buckets[i]` es la que buscamos, hemos encontrado la `Entry` que necesitamos. Devolver su valor.
    - ★ Si no, ir al siguiente i (circularmente).
      Si $i = index$ termina la búsqueda sin éxito.

Borrando en la tabla

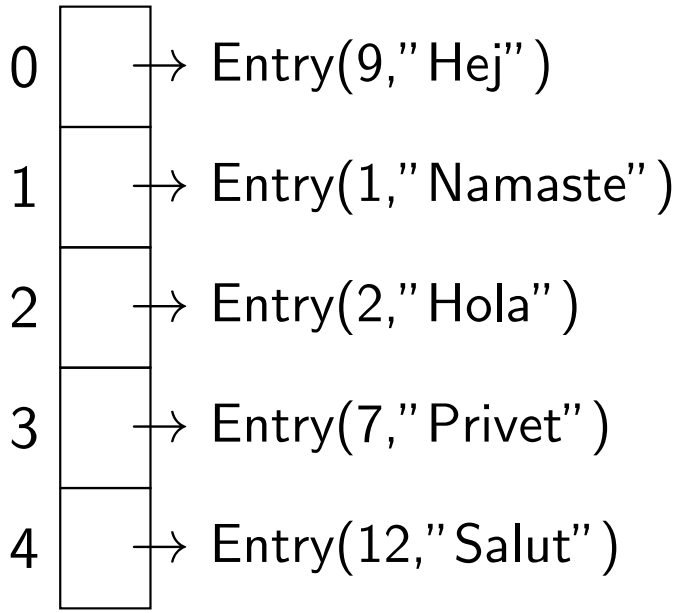
- Borrar una clave necesita encontrar primero la clave en la tabla.
  - Si la encontramos, podemos vaciar el bucket donde estaba.
- **Problema:** se pueden crear huecos indebidos, porque la búsqueda de una clave solo continúa si no hay huecos.
- Tras vaciar un bucket necesitamos "compactar" la tabla resultante moviendo entradas para evitar huecos indebidos.

Borrando en la tabla: simulacro



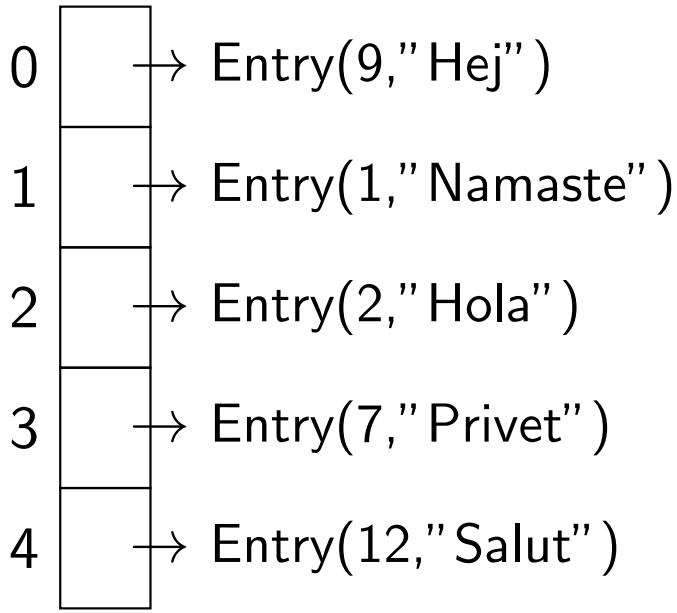
- Queremos borrar la clave 7

Borrando en la tabla: simulacro



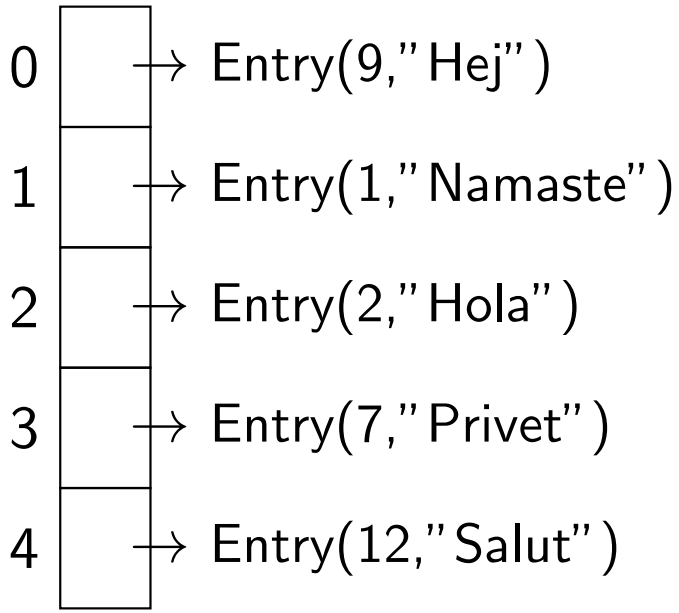
- Queremos borrar la clave 7
- Empezamos a buscar en el bucket 2, porque como $7.hashCode()\ mod\ 5 \equiv 2$.

Borrando en la tabla: simulacro



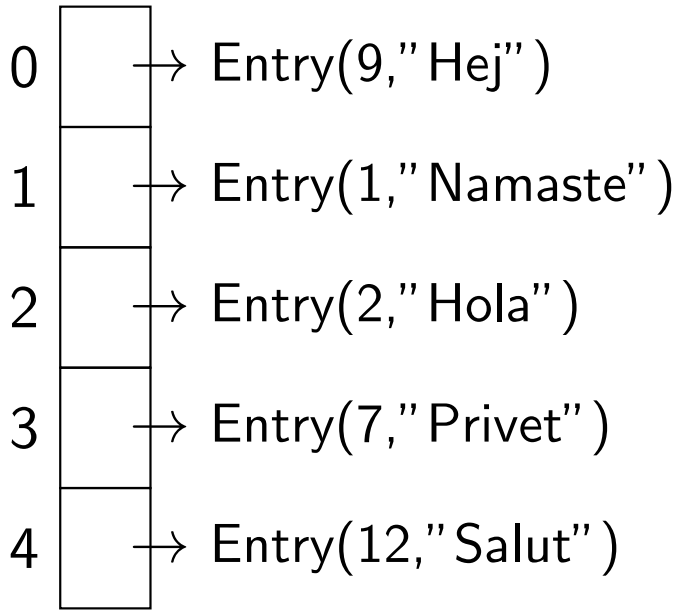
- Queremos borrar la clave 7
- Empezamos a buscar en el bucket 2, porque como $7.hashCode()\ mod\ 5 \equiv 2$.
- No esta ahí, pero como *no está vacío* miramos en el siguiente (el bucket 3).

Borrando en la tabla: simulacro



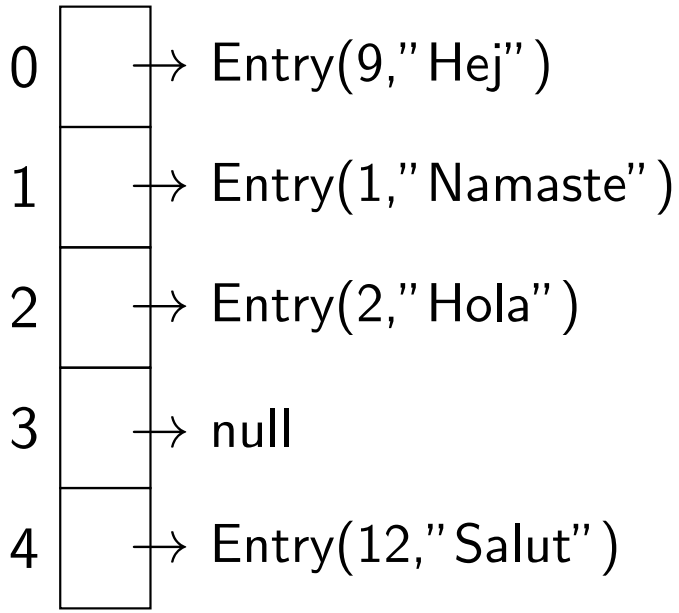
- Queremos borrar la clave 7
- Empezamos a buscar en el bucket 2, porque como $7.hashCode() \ mod \ 5 \equiv 2$.
- No esta ahí, pero como *no está vacío* miramos en el siguiente (el bucket 3).
- Ahi lo encontramos (la entrada `Entry(7,"Privet")`).

Borrando en la tabla: simulacro



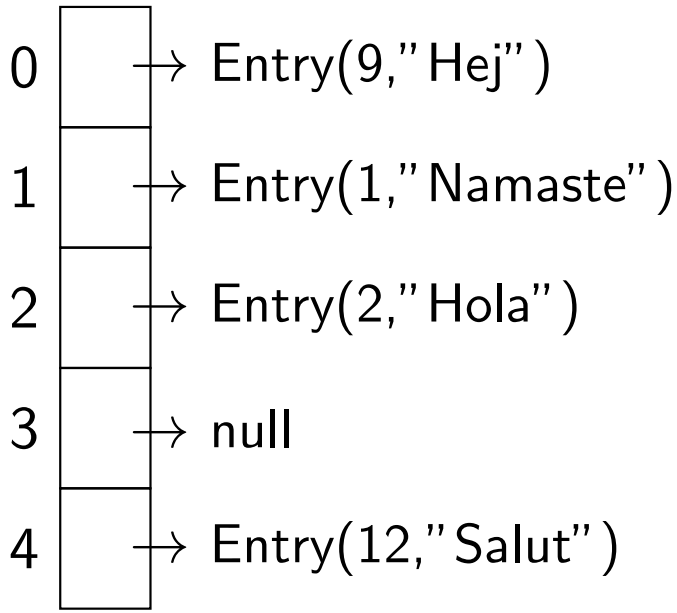
- Queremos borrar la clave 7
- Empezamos a buscar en el bucket 2, porque como $7.hashCode()\ mod\ 5 \equiv 2$.
- No esta ahí, pero como *no está vacío* miramos en el siguiente (el bucket 3).
- Ahi lo encontramos (la entrada `Entry(7,"Privet")`).
- Vaciamos el bucket

Borrando en la tabla: simulacro



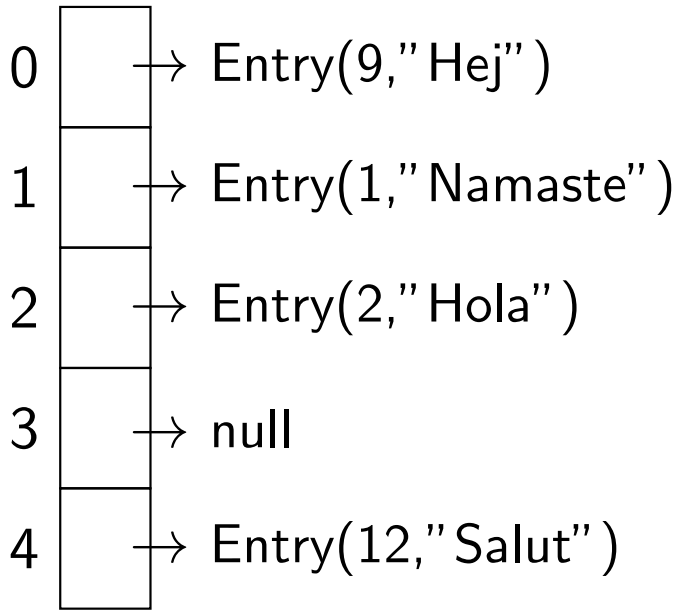
- Queremos borrar la clave 7
- Empezamos a buscar en el bucket 2, porque como $7.hashCode()\ mod\ 5 \equiv 2$.
- No esta ahí, pero como *no está vacío* miramos en el siguiente (el bucket 3).
- Ahi lo encontramos (la entrada `Entry(7,"Privet")`).
- Vaciamos el bucket

Borrando en la tabla: simulacro



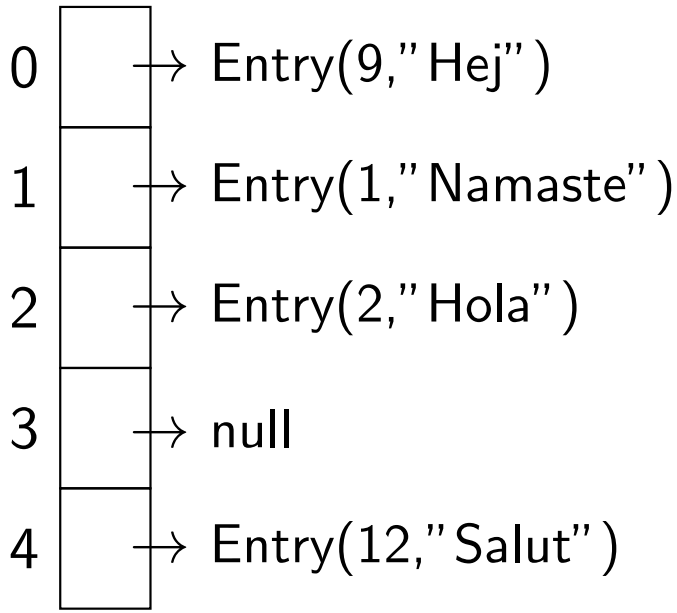
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?

Borrando en la tabla: simulacro



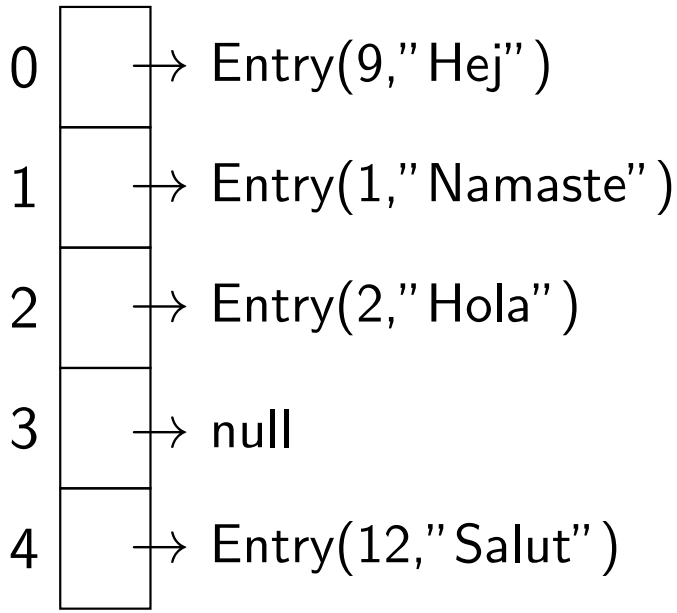
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?
- Buscamos, empezando con el bucket 2, porque $12 \; mod \; 5 \equiv 2$.

Borrando en la tabla: simulacro



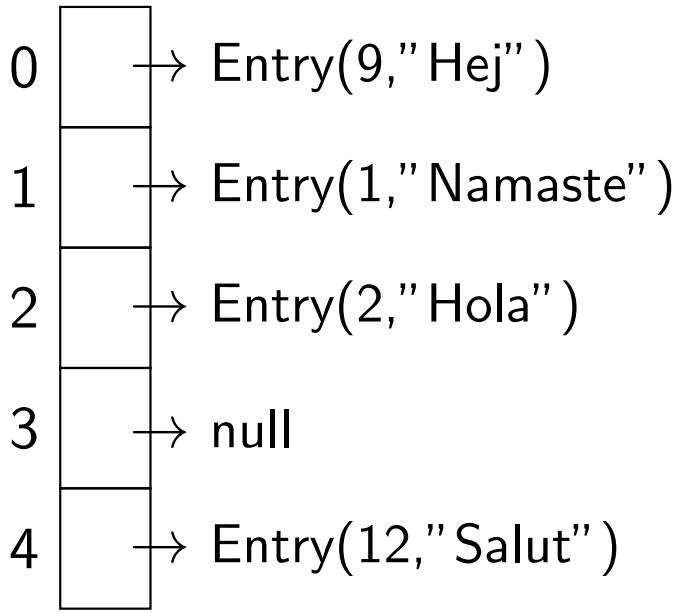
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?
- Buscamos, empezando con el bucket 2, porque $12\ mod\ 5 \equiv 2$.
- La clave 12 no esta en el bucket 2; continuamos en el bucket 3...

Borrando en la tabla: simulacro



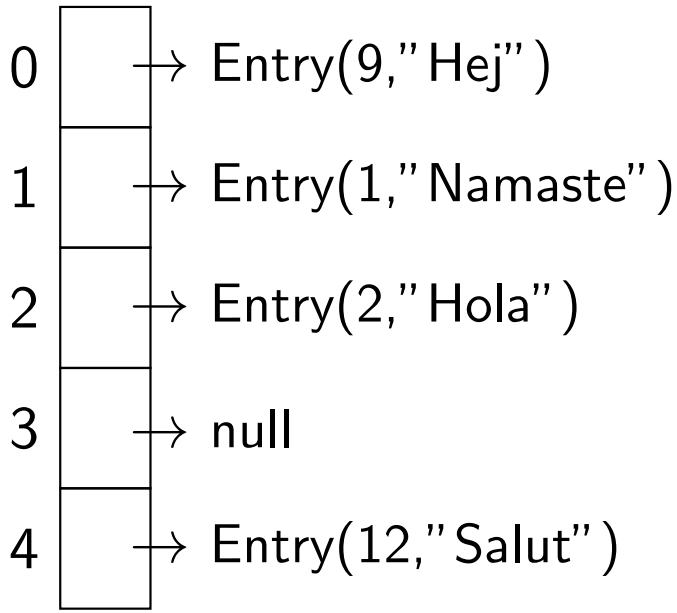
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?
- Buscamos, empezando con el bucket 2, porque $12\ mod\ 5 \equiv 2$.
- La clave 12 no esta en el bucket 2; continuamos en el bucket 3...
- El bucket 3 está vacío $\Longrightarrow$ terminamos la búsqueda.

Borrando en la tabla: simulacro



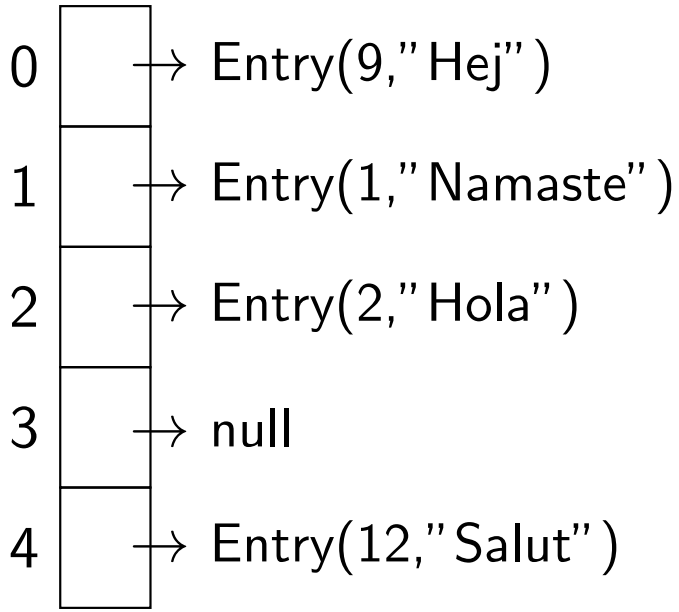
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?
- Buscamos, empezando con el bucket 2, porque $12 \; mod \; 5 \equiv 2$.
- La clave 12 no esta en el bucket 2; continuamos en el bucket 3...
- El bucket 3 está vacío $\Longrightarrow$ terminamos la búsqueda.
- ¡Pero esta en el bucket 4! Algo está mal...

Borrando en la tabla: simulacro



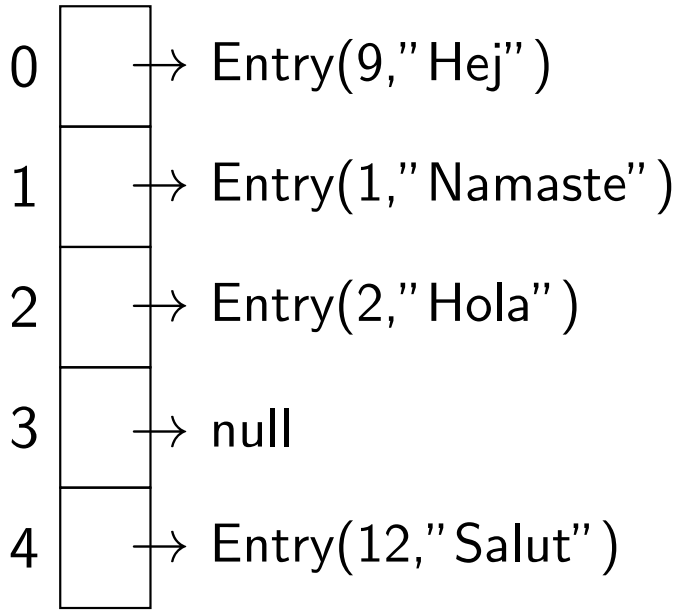
- ¿Si ahora buscamos la clave 12 que pasa?
- Buscamos, empezando con el bucket 2, porque $12\ mod\ 5 \equiv 2$.
- La clave 12 no esta en el bucket 2; continuamos en el bucket 3...
- El bucket 3 está vacío $\Longrightarrow$ terminamos la búsqueda.
- ¡Pero esta en el bucket 4! Algo está mal...
- Solución: tras vaciar un bucket (y crear un hueco), deberíamos comprobar si hay que mover otra entrada a ese hueco.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



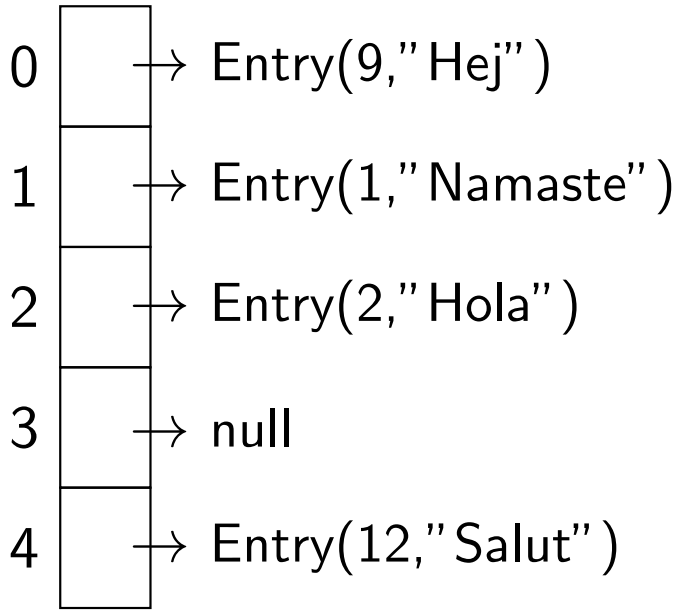
- Examinamos los siguientes buckets para ver si podemos mover sus entradas al hueco en el bucket 3.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



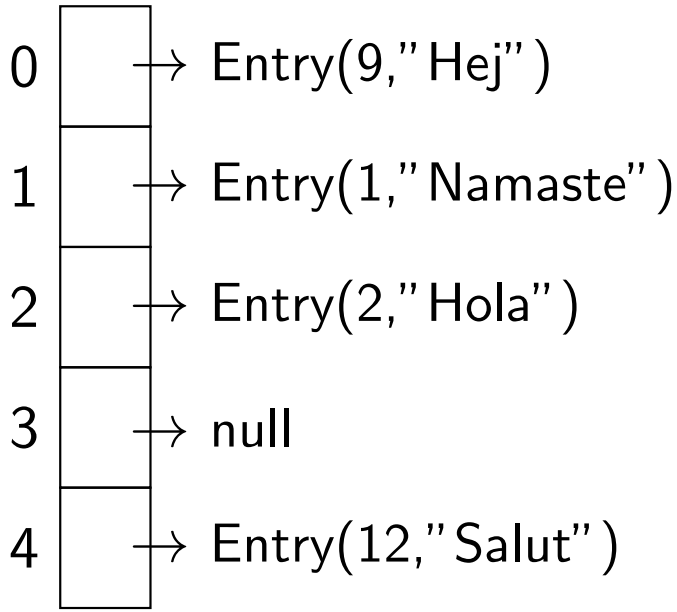
- Examinamos los siguientes buckets para ver si podemos mover sus entradas al hueco en el bucket 3.
- En el bucket 4 está `Entry(12,"Salut")`. ¿Deberíamos moverla al bucket 3?

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



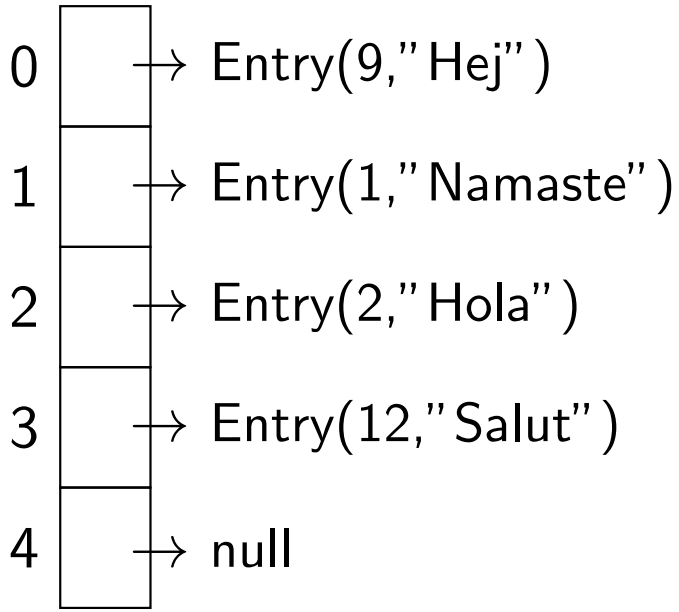
- Examinamos los siguientes buckets para ver si podemos mover sus entradas al hueco en el bucket 3.
- En el bucket 4 está `Entry(12,"Salut")`. ¿Deberíamos moverla al bucket 3?
- **¡Sí!** El hueco en el bucket 3 está más *cerca* de su posición preferida (bucket 2) que su lugar actual (el bucket 4).

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



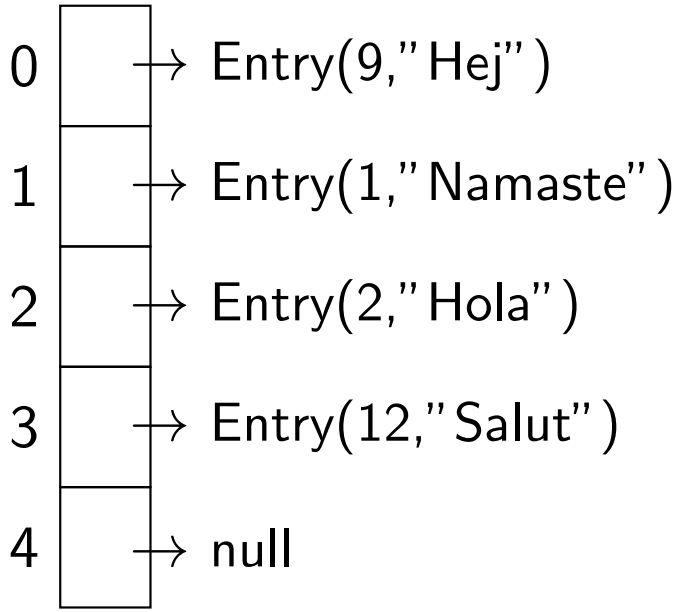
- Examinamos los siguientes buckets para ver si podemos mover sus entradas al hueco en el bucket 3.
- En el bucket 4 está `Entry(12,"Salut")`. ¿Deberíamos moverla al bucket 3?
- **¡Sí!** El hueco en el bucket 3 está más *cerca* de su posición preferida (bucket 2) que su lugar actual (el bucket 4).
- Movemos la entrada en bucket 4 a bucket 3.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



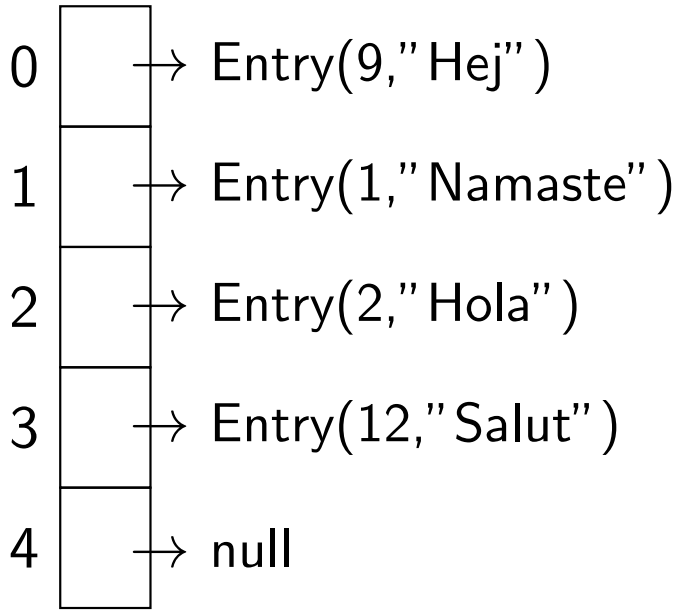
- Se crea un hueco en el bucket 4: deberíamos intentar eliminarlo con el mismo procedimiento, empezando con el bucket 0.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



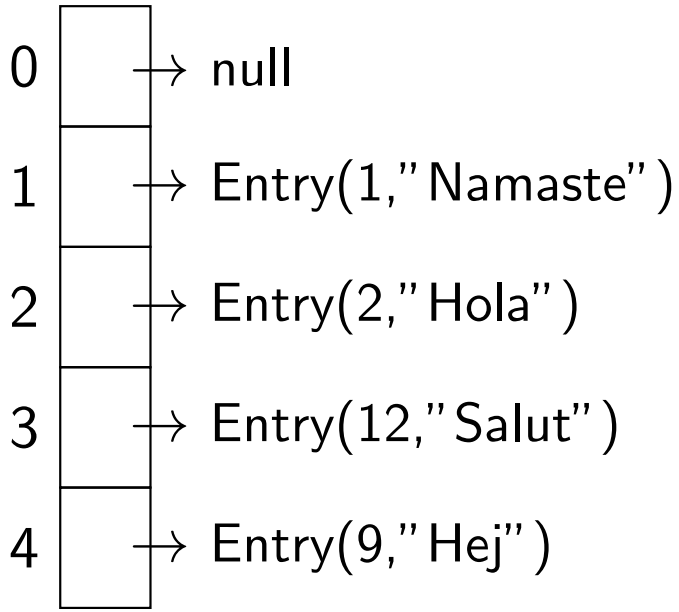
- Se crea un hueco en el bucket 4: deberíamos intentar eliminarlo con el mismo procedimiento, empezando con el bucket 0.
- El bucket 0 contiene `Entry(9,"Hej")`. ¿Podemos moverla al 4?

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



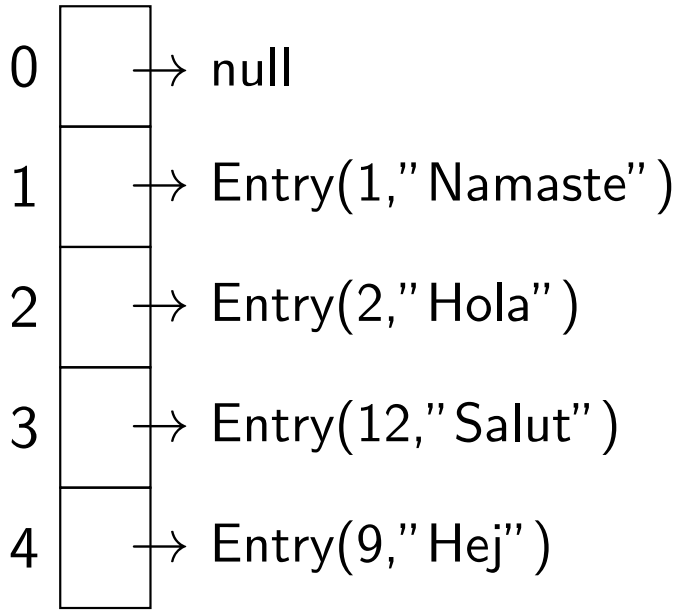
- Se crea un hueco en el bucket 4: deberíamos intentar eliminarlo con el mismo procedimiento, empezando con el bucket 0.
- El bucket 0 contiene `Entry(9,"Hej")`. ¿Podemos moverla al 4?
- **¡Si!** Su posición "preferida" es el bucket 4. La movemos.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



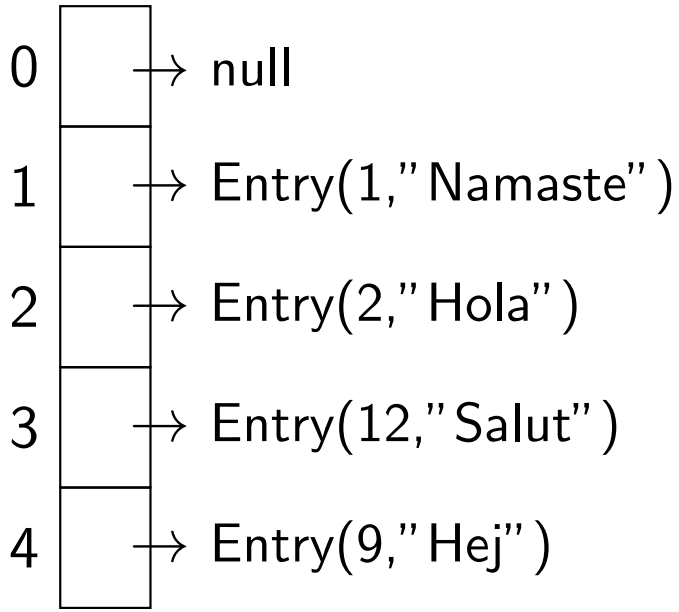
- Tenemos un hueco en bucket 0. ¿Podemos mover `Entry(1,"Namaste")` ahí?

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



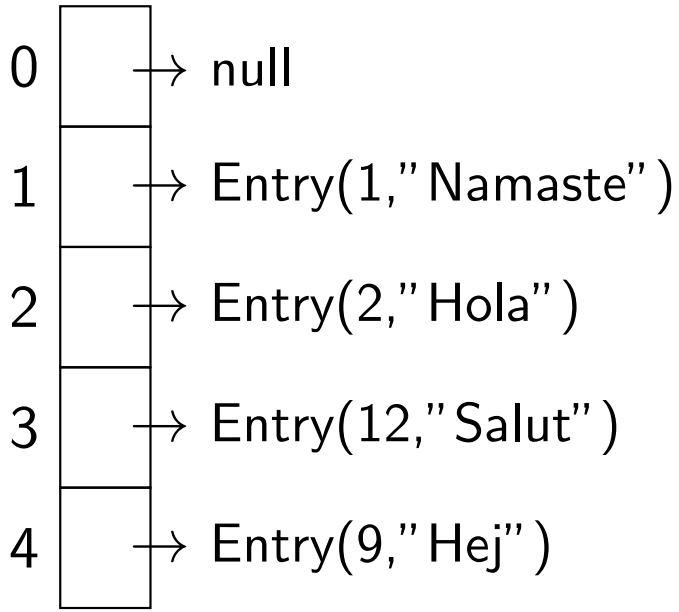
- Tenemos un hueco en bucket 0. ¿Podemos mover `Entry(1,"Namaste")` ahí?
- No, el índice preferido de la clave 1 es el bucket 1, y ya está ahí. No deberíamos moverlo.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



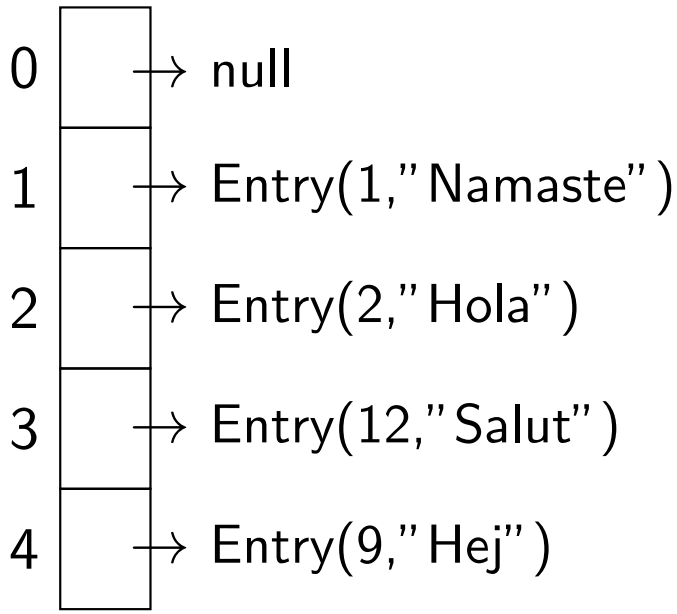
- Tenemos un hueco en bucket 0. ¿Podemos mover `Entry(2,"Hola")` ahí?

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



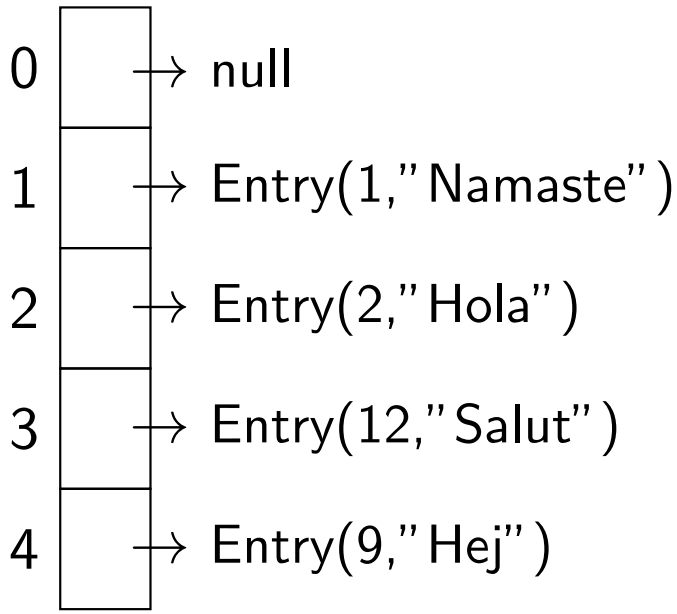
- Tenemos un hueco en bucket 0. ¿Podemos mover `Entry(2,"Hola")` ahí?
- No, el índice preferido de la clave 2 es el bucket 2 y ya esta ahí. No deberíamos moverlo.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



- Empezabamos el procedimiento de colapsar en el índice 3 y hemos vuelto. Terminado.

Colapsando huecos despues de haber borrado: simulacro



- Empezabamos el procedimiento de colapsar en el índice 3 y hemos vuelto. Terminado.
- El procedimiento de colapsar huecos termina cuando encontramos un bucket vacío *no creado* por el procedimiento mismo o cuando llegamos al principio (al bucket originalmente borrado).

Colapsando huecos: Algoritmo

- Asumimos que el nuevo hueco está en el índice $index_{hueco}$
- Asignamos $start = index_{hueco}$ y $i = (index_{hueco} + 1)\ mod\ buckets.length$
- Repetir mientras $i \neq start\ and\ buckets[i] \neq null$
  - Calcular el índice preferido – $index_{preferido}$ – de la clave que está en $buckets[i]$
  - Si $index_{hueco}$ está más "cerca" de $index_{preferido}$ que i (su posición actual):
    - $buckets[index_{hueco}] = buckets[i]$
    - $buckets[i] = null$ y $index_{hueco} = i$
  - Incrementar $i = (i + 1)\ mod\ buckets.length$

La condición de que $index_{hueco}$ esta más cerca $index_{preferido}$ que i se cumple cuando:

- si $i \geq index_{preferido}$ entonces $index_{preferido} \leq index_{hueco} < i$
- si $index_{preferido} > i$ entonces $index_{hueco} \geq index_{preferido}$ o $index_{hueco} < i$

Os recomendamos dibujar escenarios para entenderlos mejor

Métodos auxiliares útiles **no obligatorios**

Podría resultar útil definir algunos métodos auxiliares:

- `int index(Object key)` – calcula el índice del array donde se busca la clave `key` primero. Debería calcular el `hashCode` de `key`, y después "comprimir" el resultado en el rango $0..buckets.length - 1$.
- `int search(K key)` – busca la clave en el array, según el procedimiento de búsqueda explicado anteriormente. Devuelve:
  - El índice donde reside una entrada con la clave `key`, si está en la tabla.
  - Si no hay entrada con la clave `key` en `buckets`, devuelve, *si hay buckets libres*, el índice del siguiente "bucket" libre (con elemento `null`) dentro `buckets`
  - Si no hay entrada con clave `key`, ni existe un bucket libre, devuelve -1.
- `void rehash()` – implementa la operación de "rehashing" según la explicación anterior.
- `Entry<K,V>[] createBuckets(int size)` – crea un array nuevo de entradas de tamaño `size`. **Este método ya esta programado en HashTable.java**.

Puntuación

- Bien implementado todo excepto `remove`: 8 puntos máximo
- Bien implementado todo incluyendo `remove`: 10 puntos máximo

Notas

- Notad que `HashTable.java` no compila; falta implementar los métodos necesarios para que la clase implementa la interfaz `Map`.
- Es **obligatorio** usar el atributo `buckets` para guardar los elementos del Hash table. No es permitido cambiar su tipo.
- El proyecto debe compilar sin errores y debe cumplirse la especificación de los métodos a completar, y debe ejecutar `TesterLab4` correctamente sin mensajes de error
- Nota: una ejecución sin mensajes de error no significa que el método sea correcto (es decir, que funcione bien para cada posible entrada)
- Todos los ejercicios se comprueban manualmente