

PRÁCTICA 2

Creación del sistema de ficheros ASSOOFS

Ampliación de Sistemas Operativos (ASSOO)
Grado en Ingeniería Informática

Universidad de León

Distributed under: Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International



Resumen

El kernel de Linux incluye un conjunto de rutinas conocido como *libfs* diseñada para simplificar la tarea de escribir sistemas de ficheros. *libfs* se encarga de las tareas más habituales de un sistema de ficheros permitiendo al desarrollador centrarse en la funcionalidad más específica. El objetivo de esta práctica es construir un sistema de ficheros basado en inodos con una funcionalidad muy básica utilizando las rutinas de *libfs*. Para hacerlo, es necesario implementar un nuevo módulo que permita al kernel gestionar sistemas de ficheros de tipo *assoofs*.

Referencias

- Creating Linux virtual filesystems. <https://lwn.net/Articles/57369/>
- Linux Device Drivers, Third Edition By Jonathan Corbet, Alessandro Rubini, Greg Kroah-Hartman.
- The Linux Kernel Module Programming Guide. <http://www.tldp.org/LDP/lkmpg/2.6/html/index.html>
- SIMPLEFS: A simple, kernel-space, on-disk filesystem from the scratch. <https://github.com/psankar/simplefs>
- *libfs* stuff: <https://elixir.bootlin.com/linux/latest/source>

Índice

1. Creación de un módulo básico	3
2. Implementación de ASSOofs	4
2.1. Estructuras de datos necesarias	4
2.2. Implementación un programa que permita formatear dispositivos de bloques como ASSOofs	5
2.3. Implementación de un módulo para ASSOofs	9
2.3.1. Compilar la solución completa, formatear y montar un dispositivo ASSOofs	11
2.3.2. Inicializar y registrar el nuevo sistema de ficheros en el kernel	12
2.3.3. Implementar una función que permita montar dispositivos con el nuevo sistema de ficheros: <code>assoofs_mount</code>	13
2.3.4. Implementar una función para inicializar el superbloque: <code>assoofs_fill_super</code>	13
2.3.5. Declarar una estructura e implementar funciones para manejar inodos	15
2.3.6. Declarar una estructura e implementar funciones para manejar archivos y directorios	20
3. Prueba tu práctica	22
3.1. Sesión 1: Compilación estructura básica	22
3.2. Sesión 2: Implementadas <code>assoofs_fill_super</code> y <code>assoofs_get_inode_info</code>	22
3.3. Sesión 3: Implementadas <code>assoofs_lookup</code> y <code>assoofs_get_inode</code>	22
3.4. Sesión 4: Implementadas <code>assoofs_create</code> , <code>assoofs_sb_get_a_freeblock</code> y <code>assoofs_save_sb_info</code>	22
A. Operaciones binarias sobre <code>free_blocks</code>	24
B. Caché de inodos	24
C. Uso de semáforos para bloquear recursos compartidos	25

1. Creación de un módulo básico

El siguiente fragmento de código muestra la implementación de un módulo sencillo cargable en el kernel de Linux.

```
1 #include <linux/module.h>      /* Needed by all modules */
2 #include <linux/kernel.h>      /* Needed for KERN_INFO */
3 #include <linux/init.h>        /* Needed for the macros */
4 #include <linux/fs.h>          /* libfs stuff */
5
6 MODULE_LICENSE("GPL");
7 MODULE_AUTHOR("Angel Manuel Guerrero Higuera");
8
9 static int __init init_hello(void)
10 {
11     printk(KERN_INFO "Hello world\n");
12     return 0;
13 }
14
15 static void __exit cleanup_hello(void)
16 {
17     printk(KERN_INFO "Goodbye world\n");
18 }
19
20 module_init(init_hello);
21 module_exit(cleanup_hello);
```

Guardaremos la rutina de código anterior en un fichero llamado `helloWorldModule.c`. Para compilar `helloWorldModule.c` utilizaremos la herramienta *make*. Para ello, se necesita un fichero de configuración *Makefile* similar al siguiente:

```
1 obj-m += helloWorldModule.o
2
3 all: ko
4
5 ko:
6     make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) modules
7
8 clean:
9     make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(PWD) clean
```

La siguiente secuencia de comandos detalla los pasos que hay que seguir para primero compilar el módulo con la herramienta *make*. Después insertarlo en el kernel con el comando *insmod*. A continuación probar que funciona con el comando *dmesg* que mostrará todos los mensajes del kernel. Por último, el comando *rmmod* permite borrar el módulo del kernel.

```
1 # ls
2 helloWorldModule.c Makefile
3 # make
4 make -C /lib/modules/3.13.0-86-generic/build M=/root modules
5 make[1]: se ingresa al directorio "/usr/src/linux-headers-3.13.0-86-generic"
6   CC [M]  /root/helloWorldModule.o
7   Building modules, stage 2.
8   MODPOST 1 modules
9   CC      /root/helloWorldModule.mod.o
10  LD [M]   /root/helloWorldModule.ko
11 make[1]: se sale del directorio "/usr/src/linux-headers-3.13.0-86-generic"
12 # insmod helloWorldModule.ko
13 # dmesg
14 ...
15 [ 2424.977652] Hello world
16 # rmmod helloWorldModule
17 # dmesg
18 ...
19 [ 2424.977652] Hello world
20 [ 2488.350933] Goodbye world
```

`helloWorldModule.c` y `Makefile` tienen que estar en la misma carpeta desde la cual ejecutemos el comando *make*.

2. Implementación de ASSOOFS

Para implementar el sistema de ficheros ASSOOFS hay que realizar las siguientes tareas. En cada una de estas tareas crearemos un fichero de código fuente diferente.

1. Definir y declarar las estructuras de datos y constantes necesarias. Las estructuras y constantes las definiremos en el fichero `assoofs.h`.
2. Implementar un programa que permita formatear dispositivos de bloques como ASSOOFS. El programa lo implementaremos en el fichero `mkassoofs.c`.
3. Implementar un módulo para que el kernel del SO pueda interactuar con un dispositivo de bloques con formato ASSOOFS. El módulo lo implementaremos en el fichero `assoofs.c`.

En los apartados 2.1, 2.2 y 2.3 se detalla cada una de estas tareas.

2.1. Estructuras de datos necesarias

El fichero `assoofs.h`, cuyo contenido muestra el siguiente listado, contiene las estructuras de datos y constantes necesarias:

```
1 #define ASSOOFS_MAGIC 0x20200406
2 #define ASSOOFS_DEFAULT_BLOCK_SIZE 4096
3 #define ASSOOFS_FILENAME_MAXLEN 255
4 #define ASSOOFS_LAST_RESERVED_BLOCK ASSOOFS_ROOTDIR_BLOCK_NUMBER
5 #define ASSOOFS_LAST_RESERVED_INODE ASSOOFS_ROOTDIR_INODE_NUMBER
6 const int ASSOOFS_SUPERBLOCK_BLOCK_NUMBER = 0;
7 const int ASSOOFS_INODESTORE_BLOCK_NUMBER = 1;
8 const int ASSOOFS_ROOTDIR_BLOCK_NUMBER = 2;
9 const int ASSOOFS_ROOTDIR_INODE_NUMBER = 1;
10 const int ASSOOFS_MAX_FILESYSTEM_OBJECTS_SUPPORTED = 64;
11
12 struct assoofs_super_block_info {
13     uint64_t version;
14     uint64_t magic;
15     uint64_t block_size;
16     uint64_t inodes_count;
17     uint64_t free_blocks;
18     char padding[4056];
19 };
20
21 struct assoofs_dir_record_entry {
22     char filename[ASSOOFS_FILENAME_MAXLEN];
23     uint64_t inode_no;
24 };
25
26 struct assoofs_inode_info {
27     mode_t mode;
28     uint64_t inode_no;
29     uint64_t data_block_number;
30     union {
31         uint64_t file_size;
32         uint64_t dir_children_count;
33     };
34 };
```

El sistema de ficheros ASSOOFS soporta un máximo de 64 bloques como muestra la figura 1.

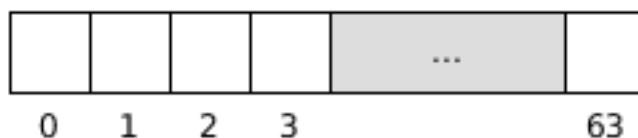


Figura 1: Dispositivo de bloques con formato ASSOOFS.

2.2. Implementación un programa que permita formatear dispositivos de bloques como ASSOOFS

Para formatear dispositivos de bloques como ASSOOFS necesitaremos el programa `mkassoofs.c`, cuyo código se muestra a continuación:

```
1 #include <unistd.h>
2 #include <stdio.h>
3 #include <sys/types.h>
4 #include <sys/stat.h>
5 #include <fcntl.h>
6 #include <stdint.h>
7 #include <stdlib.h>
8 #include <string.h>
9 #include "assoofs.h"
10
11 #define WELCOMEFIL_DATABLOCK_NUMBER (ASSOofs_LAST_RESERVED_BLOCK + 1)
12 #define WELCOMEFIL_INODE_NUMBER (ASSOofs_LAST_RESERVED_INODE + 1)
13
14 static int write_superblock(int fd) {
15     struct assoofs_super_block_info sb = {
16         .version = 1,
17         .magic = ASSOofs_MAGIC,
18         .block_size = ASSOofs_DEFAULT_BLOCK_SIZE,
19         .inodes_count = WELCOMEFIL_INODE_NUMBER,
20         .free_blocks = (~0) & ~(15),
21     };
22     ssize_t ret;
23
24     ret = write(fd, &sb, sizeof(sb));
25     if (ret != ASSOofs_DEFAULT_BLOCK_SIZE) {
26         printf("Bytes written [%d] are not equal to the default block size.\n", (int)ret);
27         return -1;
28     }
29
30     printf("Super block written succesfully.\n");
31     return 0;
32 }
33
34 static int write_root_inode(int fd) {
35     ssize_t ret;
36
37     struct assoofs_inode_info root_inode;
38
39     root_inode.mode = S_IFDIR;
40     root_inode.inode_no = ASSOofs_ROOTDIR_INODE_NUMBER;
41     root_inode.data_block_number = ASSOofs_ROOTDIR_BLOCK_NUMBER;
42     root_inode.dir_children_count = 1;
43
44     ret = write(fd, &root_inode, sizeof(root_inode));
45
46     if (ret != sizeof(root_inode)) {
47         printf("The inode store was not written properly.\n");
48         return -1;
49     }
50
51     printf("root directory inode written succesfully.\n");
52     return 0;
53 }
54
55 static int write_welcome_inode(int fd, const struct assoofs_inode_info *i) {
56     off_t nbytes;
57     ssize_t ret;
58
59     ret = write(fd, i, sizeof(*i));
60     if (ret != sizeof(*i)) {
61         printf("The welcomefile inode was not written properly.\n");
62         return -1;
63     }
64     printf("welcomefile inode written succesfully.\n");
65
66     nbytes = ASSOofs_DEFAULT_BLOCK_SIZE - (sizeof(*i) * 2);
67     ret = lseek(fd, nbytes, SEEK_CUR);
68     if (ret == (off_t)-1) {
69         printf("The padding bytes are not written properly.\n");
70         return -1;
71     }
72
73     printf("inode store padding bytes (after two inodes) written sucessfully.\n");
```

```

74     return 0;
75 }
76
77 int write_dirent(int fd, const struct assoofs_dir_record_entry *record) {
78     ssize_t nbytes = sizeof(*record), ret;
79
80     ret = write(fd, record, nbytes);
81     if (ret != nbytes) {
82         printf("Writing the rootdirectory datablock (name+inode_no pair for welcomefile) has failed.\n");
83         return -1;
84     }
85     printf("root directory datablocks (name+inode_no pair for welcomefile) written succesfully.\n");
86
87     nbytes = ASSOOFS_DEFAULT_BLOCK_SIZE - sizeof(*record);
88     ret = lseek(fd, nbytes, SEEK_CUR);
89     if (ret == (off_t)-1) {
90         printf("Writing the padding for rootdirectory children datablock has failed.\n");
91         return -1;
92     }
93     printf("Padding after the rootdirectory children written succesfully.\n");
94     return 0;
95 }
96
97 int write_block(int fd, char *block, size_t len) {
98     ssize_t ret;
99
100     ret = write(fd, block, len);
101     if (ret != len) {
102         printf("Writing file body has failed.\n");
103         return -1;
104     }
105     printf("block has been written succesfully.\n");
106     return 0;
107 }
108
109 int main(int argc, char *argv[])
110 {
111     int fd;
112     ssize_t ret;
113     char welcomefile_body[] = "Hola mundo, os saludo desde un sistema de ficheros ASSOOFS.\n";
114
115     struct assoofs_inode_info welcome = {
116         .mode = S_IFREG,
117         .inode_no = WELCOMEFILE_INODE_NUMBER,
118         .data_block_number = WELCOMEFILE_DATABLOCK_NUMBER,
119         .file_size = sizeof(welcomefile_body),
120     };
121
122     struct assoofs_dir_record_entry record = {
123         .filename = "README.txt",
124         .inode_no = WELCOMEFILE_INODE_NUMBER,
125     };
126
127     if (argc != 2) {
128         printf("Usage: mkassoofs <device>\n");
129         return -1;
130     }
131
132     fd = open(argv[1], O_RDWR);
133     if (fd == -1) {
134         perror("Error opening the device");
135         return -1;
136     }
137
138     ret = 1;
139     do {
140         if (write_superblock(fd))
141             break;
142
143         if (write_root_inode(fd))
144             break;
145
146         if (write_welcome_inode(fd, &welcome))
147             break;
148
149         if (write_dirent(fd, &record))
150             break;
151
152         if (write_block(fd, welcomefile_body, welcome.file_size))

```

```

153         break;
154
155     ret = 0;
156 } while (0);
157
158 close(fd);
159 return ret;
160 }

```

La función `main`, después de inicializar algunas variables (`welcome`, `welcome_body` y `record`) y de abrir el dispositivo indicado como segundo argumento en la línea de comandos (`open(argv[1], O_RDWR)`), ejecuta de manera secuencial las siguientes funciones:

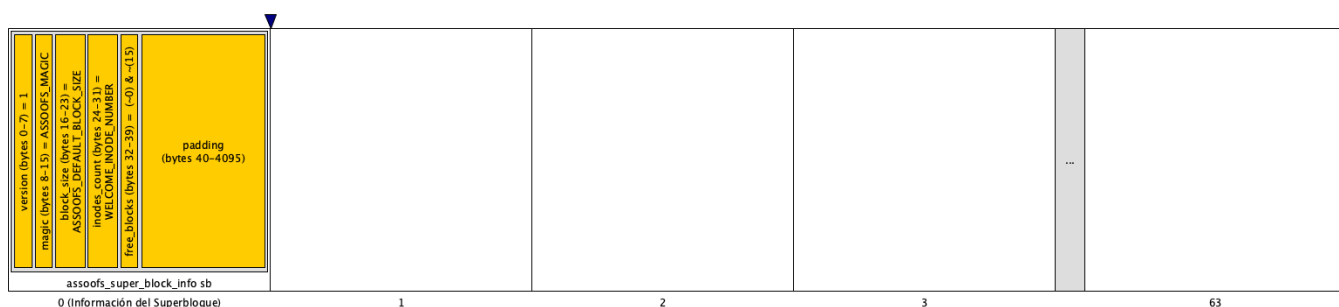
1. Primero, la función `write_superblock` escribe el superbloque en el primer bloque de disco (bloque 0).

```

1 static int write_superblock(int fd) {
2     struct assoofs_super_block_info sb = {
3         .version = 1,
4         .magic = ASSOOFS_MAGIC,
5         .block_size = ASSOOFS_DEFAULT_BLOCK_SIZE,
6         .inodes_count = WELCOMEFIL_INODE_NUMBER,
7         .free_blocks = (~0) & ~(15),
8     };
9     ssize_t ret;
10
11     ret = write(fd, &sb, sizeof(sb));
12     if (ret != ASSOOFS_DEFAULT_BLOCK_SIZE) {
13         printf("Bytes written [%d] are not equal to the default block size.\n", (int)ret);
14         return -1;
15     }
16
17     printf("Super block written succesfully.\n");
18     return 0;
19 }

```

La siguiente figura muestra el contenido de un dispositivo de bloques con formato ASSOOFS después de ejecutar `write_superblock`.



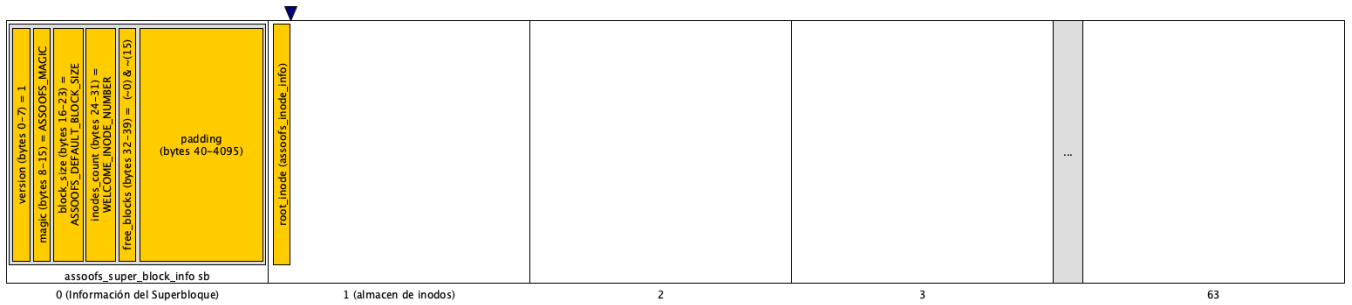
2. Después, `write_root_inode` guarda el inodo del directorio raíz en el almacén de inodos (bloque 1).

```

1 static int write_root_inode(int fd) {
2     ssize_t ret;
3
4     struct assoofs_inode_info root_inode;
5
6     root_inode.mode = S_IFDIR;
7     root_inode.inode_no = ASSOOFS_ROOTDIR_INODE_NUMBER;
8     root_inode.data_block_number = ASSOOFS_ROOTDIR_BLOCK_NUMBER;
9     root_inode.dir_children_count = 1;
10
11     ret = write(fd, &root_inode, sizeof(root_inode));
12
13     if (ret != sizeof(root_inode)) {
14         printf("The inode store was not written properly.\n");
15         return -1;
16     }
17
18     printf("root directory inode written succesfully.\n");
19     return 0;
20 }

```

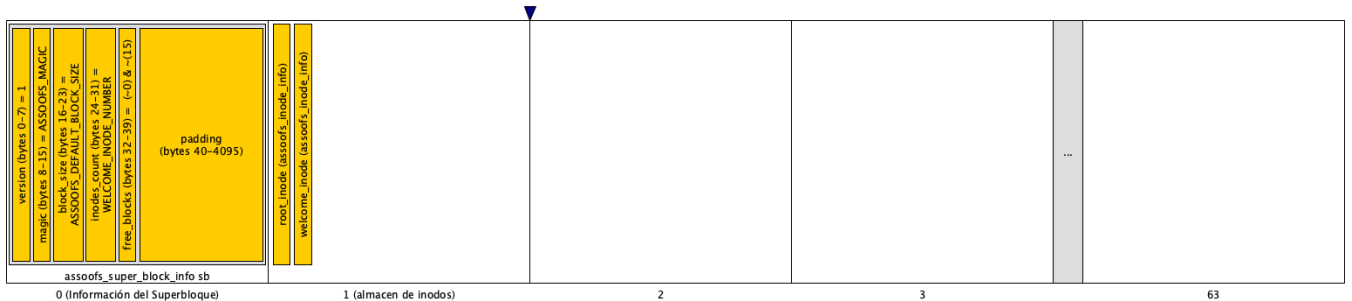
La siguiente figura muestra el contenido de un dispositivo de bloques con formato ASSOOFS después de ejecutar `write_root_inode`.



3. A continuación, `write_welcome_inode` guarda el inodo del fichero `README.txt` en el almacén de inodos (bloque 1).

```
1 static int write_welcome_inode(int fd, const struct assoofs_inode_info *i) {
2     off_t nbytes;
3     ssize_t ret;
4
5     ret = write(fd, i, sizeof(*i));
6     if (ret != sizeof(*i)) {
7         printf("The welcomefile inode was not written properly.\n");
8         return -1;
9     }
10    printf("welcomefile inode written sucesfully.\n");
11
12    nbytes = ASSOOFs_DEFAULT_BLOCK_SIZE - (sizeof(*i) * 2);
13    ret = lseek(fd, nbytes, SEEK_CUR);
14    if (ret == (off_t)-1) {
15        printf("The padding bytes are not written properly.\n");
16        return -1;
17    }
18
19    printf("inode store padding bytes (after two inodes) written sucesfully.\n");
20    return 0;
21 }
```

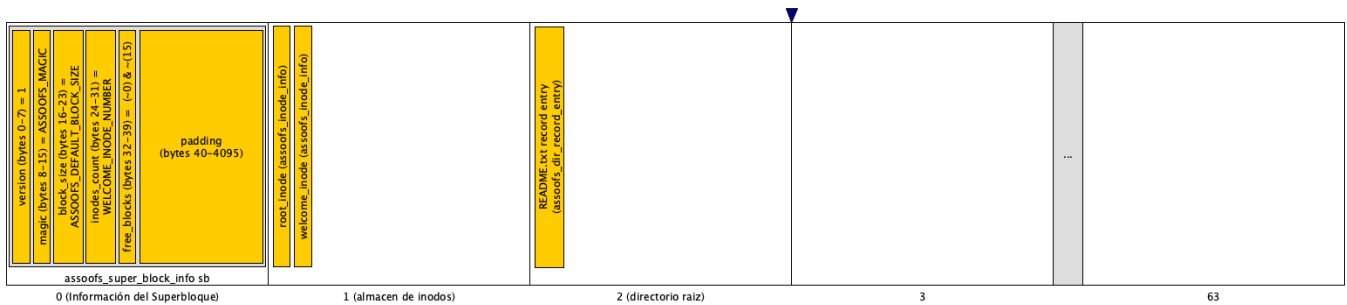
La siguiente figura muestra el contenido de un dispositivo de bloques con formato ASSOOFs después de ejecutar `write_welcome_inode`.



4. Después, `write_dirent` guarda una entrada (`<nombre, número de inodo>`) para el fichero `README.txt` en el bloque que almacena las entradas del directorio raíz (bloque 2).

```
1 int write_dirent(int fd, const struct assoofs_dir_record_entry *record) {
2     ssize_t nbytes = sizeof(*record), ret;
3
4     ret = write(fd, record, nbytes);
5     if (ret != nbytes) {
6         printf("Writing the rootdirectory datablock (name+inode_no pair for welcomefile) has failed.\n");
7         return -1;
8     }
9     printf("root directory datablocks (name+inode_no pair for welcomefile) written sucesfully.\n");
10
11    nbytes = ASSOOFs_DEFAULT_BLOCK_SIZE - sizeof(*record);
12    ret = lseek(fd, nbytes, SEEK_CUR);
13    if (ret == (off_t)-1) {
14        printf("Writing the padding for rootdirectory children datablock has failed.\n");
15        return -1;
16    }
17    printf("Padding after the rootdirectory children written sucesfully.\n");
18    return 0;
19 }
```

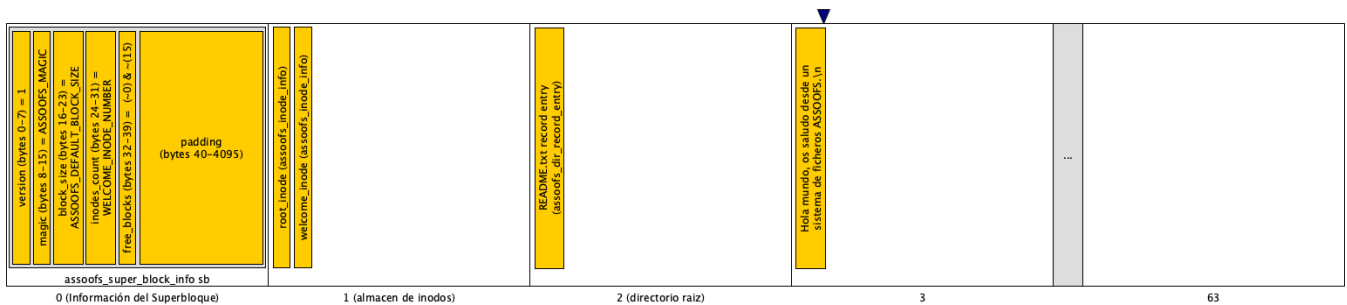
La siguiente figura muestra el contenido de un dispositivo de bloques con formato ASSOOFs después de ejecutar `write_dirent`.



5. Por último, `write_block` escribe un mensaje en el bloque que almacena los contenidos del fichero README.txt (bloque 3).

```
1 int write_block(int fd, char *block, size_t len) {
2     ssize_t ret;
3
4     ret = write(fd, block, len);
5     if (ret != len) {
6         printf("Writing file body has failed.\n");
7         return -1;
8     }
9     printf("block has been written succesfully.\n");
10    return 0;
11 }
```

La siguiente figura muestra el contenido de un dispositivo de bloques con formato ASSOOFs después de ejecutar `mkassoofs`.



2.3. Implementación de un módulo para ASSOOFs

Para implementar un sistema de ficheros básico es necesario seguir los pasos que se enumeran a continuación. El desarrollo de la práctica se realizará sobre la distribución Linux Ubuntu 22.04, en este enlace (también disponible en el moodle de la asignatura), se encuentra una imagen de disco que se va a utilizar como base. Estas funcionalidades suponen los **requisitos básicos** que debe cumplir un sistema de ficheros ASSOOFs (8 puntos):

1. Inicializar y registrar el nuevo sistema de ficheros en el kernel.
2. Implementar una función que permita montar dispositivos con el nuevo sistema de ficheros.
3. Implementar una función para inicializar el superbloque.
4. Declarar una estructura e implementar funciones para manejar inodos. En concreto necesitaremos poder crear nuevos inodos y acceder a la información de los ya existentes.
5. Declarar una estructura e implementar funciones mínimas para manejar archivos y directorios. En concreto se pide poder leer y escribir archivos existentes y crear archivos y carpetas nuevos.

* Se penalizarán aquellas prácticas que en tiempo de compilación reporten algún tipo de warning.

Además de las funcionalidades básicas enumeradas, es recomendable la implementación de las siguientes funcionalidades **opcionales** (2 puntos):

- Mantener una cache de inodos (fácil). Apéndice B.
- Utilizar semáforos para acceder a las estructuras principales (fácil). Apéndice C.
- Borrado de ficheros con el comando `rm` (difícil). Apéndice ??.

- Mover ficheros con el comando mv (difícil).

El detalle de cada paso se describe en los siguientes sub-apartados. Cómo base podemos utilizar la estructura básica del módulo con las funciones principales de `assoofs.c`, cuyo código se muestra a a continuación (disponible en el moodle de la asignatura):

```

1  #include <linux/module.h>      /* Needed by all modules */
2  #include <linux/kernel.h>      /* Needed for KERN_INFO */
3  #include <linux/init.h>        /* Needed for the macros */
4  #include <linux/fs.h>          /* libfs stuff */
5  #include <linux/buffer_head.h> /* buffer_head */
6  #include <linux/slab.h>        /* kmem_cache */
7  #include "assoofs.h"
8
9  /*
10 * Operaciones sobre ficheros
11 */
12 ssize_t assoofs_read(struct file * filp, char __user * buf, size_t len, loff_t * ppos);
13 ssize_t assoofs_write(struct file * filp, const char __user * buf, size_t len, loff_t * ppos);
14 const struct file_operations assoofs_file_operations = {
15     .read = assoofs_read,
16     .write = assoofs_write,
17 };
18
19 ssize_t assoofs_read(struct file * filp, char __user * buf, size_t len, loff_t * ppos) {
20     printk(KERN_INFO "Read request\n");
21     return 0;
22 }
23
24 ssize_t assoofs_write(struct file * filp, const char __user * buf, size_t len, loff_t * ppos) {
25     printk(KERN_INFO "Write request\n");
26     return 0;
27 }
28
29 /*
30 * Operaciones sobre directorios
31 */
32 static int assoofs_iterate(struct file *filp, struct dir_context *ctx);
33 const struct file_operations assoofs_dir_operations = {
34     .owner = THIS_MODULE,
35     .iterate = assoofs_iterate,
36 };
37
38 static int assoofs_iterate(struct file *filp, struct dir_context *ctx) {
39     printk(KERN_INFO "Iterate request\n");
40     return 0;
41 }
42
43 /*
44 * Operaciones sobre inodos
45 */
46 static int assoofs_create(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode, bool excl)
47 ;
48 struct dentry *assoofs_lookup(struct inode *parent_inode, struct dentry *child_dentry, unsigned int flags);
49 static int assoofs_mkdir(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode);
50 static struct inode_operations assoofs_inode_ops = {
51     .create = assoofs_create,
52     .lookup = assoofs_lookup,
53     .mkdir = assoofs_mkdir,
54 };
55
56 struct dentry *assoofs_lookup(struct inode *parent_inode, struct dentry *child_dentry, unsigned int flags) {
57     printk(KERN_INFO "Lookup request\n");
58     return NULL;
59 }
60
61 static int assoofs_create(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode, bool excl)
62 {
63     printk(KERN_INFO "New file request\n");
64     return 0;
65 }
66
67 static int assoofs_mkdir(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode) {
68     printk(KERN_INFO "New directory request\n");
69     return 0;
70 }
71 /*

```

```

72  * Operaciones sobre el superbloque
73  */
74  static const struct super_operations assoofs_sops = {
75      .drop_inode = generic_delete_inode,
76  };
77
78  /*
79  * Inicialización del superbloque
80  */
81  int assoofs_fill_super(struct super_block *sb, void *data, int silent) {
82      printk(KERN_INFO "assoofs_fill_super request\n");
83      // 1.- Leer la información persistente del superbloque del dispositivo de bloques
84      // 2.- Comprobar los parámetros del superbloque
85      // 3.- Escribir la información persistente leída del dispositivo de bloques en el superbloque sb, incluido el campo s_op
86      // 4.- Crear el inodo raíz y asignarle operaciones sobre inodos (i_op) y sobre directorios (i_fop)
87      return 0;
88  }
89
90  /*
91  * Montaje de dispositivos assoofs
92  */
93  static struct dentry *assoofs_mount(struct file_system_type *fs_type, int flags, const char *dev_name, void *data) {
94      struct dentry *ret;
95      printk(KERN_INFO "assoofs_mount request\n");
96      ret = mount_bdev(fs_type, flags, dev_name, data, assoofs_fill_super);
97      // Control de errores a partir del valor de ret. En este caso se puede utilizar la macro IS_ERR: if (IS_ERR(ret)) ...
98      return ret;
99  }
100
101  /*
102  * assoofs file system type
103  */
104  static struct file_system_type assoofs_type = {
105      .owner      = THIS_MODULE,
106      .name       = "assoofs",
107      .mount      = assoofs_mount,
108      .kill_sb    = kill_block_super,
109  };
110
111  static int __init assoofs_init(void) {
112      int ret;
113      printk(KERN_INFO "assoofs_init request\n");
114      ret = register_filesystem(&assoofs_type);
115      // Control de errores a partir del valor de ret
116      return ret;
117  }
118
119  static void __exit assoofs_exit(void) {
120      int ret;
121      printk(KERN_INFO "assoofs_exit request\n");
122      ret = unregister_filesystem(&assoofs_type);
123      // Control de errores a partir del valor de ret
124  }
125
126  module_init(assoofs_init);
127  module_exit(assoofs_exit);

```

2.3.1. Compilar la solución completa, formatear y montar un dispositivo ASSOOFS

El siguiente listado muestra el contenido del fichero Makefile para compilar la solución completa. Para que funcione debe cumplirse lo siguiente:

- La implementación del módulo está un fichero llamado `assoofs.c`.
- El fichero `assoofs.h` contiene estructuras y constantes necesarias para compilar la solución.
- El fichero `mkassoofs.c` contiene un programa para formatear dispositivos de bloques como ASSOOFS.

```

1  obj-m := assoofs.o
2
3  all: ko mkassoofs
4
5  ko:
6      make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(shell pwd) modules
7
8  mkassoofs_SOURCES:

```

```

9  mkassoofs.c assoofs.h
10
11 clean:
12  make -C /lib/modules/$(shell uname -r)/build M=$(shell pwd) clean
13  rm mkassoofs

```

Para probar nuestro sistema de ficheros tenemos que seguir los siguientes pasos:

1. Compilar:

```

1  $ make
2  make -C /lib/modules/3.19.0-15-generic/build M=/home/ubuntu/modules
3  make[1]: Entering directory '/usr/src/linux-headers-3.19.0-15-generic'
4  CC [M] /home/ubuntu/assoofs.o
5  Building modules, stage 2.
6  MODPOST 1 modules
7  CC /home/ubuntu/assoofs.mod.o
8  LD [M] /home/ubuntu/assoofs.ko
9  make[1]: Leaving directory '/usr/src/linux-headers-3.19.0-15-generic'
10 cc mkassoofs.c -o mkassoofs

```

2. Crear una imagen para contener el sistema de ficheros:

```

1  $ dd bs=4096 count=100 if=/dev/zero of=image
2  100+0 records in
3  100+0 records out
4  409600 bytes (410 kB) copied, 0.000294943 s, 1.4 GB/s

```

3. Formatear la imagen creada en el punto anterior en formato *assoofs*:

```

1  $ ./mkassoofs image
2  Super block written succesfully
3  root directory inode written succesfully
4  welcomefile inode written succesfully
5  inode store padding bytes (after the two inodes) written succesfully
6  root directory datablocks (name+inode_no pair for welcomefile) written succesfully
7  padding after the rootdirectory children written succesfully
8  block has been written succesfully

```

Una vez realizado lo anterior, los siguientes pasos hay que ejecutarlos con el usuario root (`sudo su`). **Ojo a las rutas**, no tienen porque ser iguales a las del ejemplo:

4. Insertar el módulo en el kernel:

```

1  # insmod assoofs.ko

```

5. Crear un punto de montaje:

```

1  # mkdir mnt

```

6. Montamos la imagen creada en el punto de montaje:

```

1  # mount -o loop -t assoofs image mnt

```

7. Comprobamos los mensajes del kernel:

```

1  # dmesg
2  ...
3  [20999.690170] Sucessfully registered assoofs
4  [21131.422986] The magic number obtained in disk is: [268640275]
5  [21131.422988] assoofs filesystem of version [1] formatted with a block size of %[4096] detected in the device.
6  [21131.423014] assoofs is succesfully mounted on [/dev/loop2]

```

2.3.2. Inicializar y registrar el nuevo sistema de ficheros en el kernel

Lo primero es definir dos funciones, `assoofs_init` y `assoofs_exit`, que se ejecutaran cuando se cargue y se borre respectivamente el módulo en el kernel. `assoofs_init` tiene que registrar el nuevo sistema de ficheros en el kernel. `assoofs_exit` tiene que eliminar la información del nuevo sistema de ficheros del kernel. Para ello, tendrán que hacer uso de las funciones `register_filesystem` y `unregister_filesystem` respectivamente. Los prototipos de ambas funciones son los siguientes:

```

1  extern int register_filesystem(struct file_system_type *);
2  extern int unregister_filesystem(struct file_system_type *);

```

Ambas funciones requieren un argumento de tipo `struct file_system_type`. Tenemos que declarar nuestra propia variable de tipo `struct file_system_type`, cuya dirección pasaremos a `register_filesystem` y `unregister_filesystem`. Lo haremos como sigue:

```
1 static struct file_system_type assoofs_type = {
2     .owner    = THIS_MODULE,
3     .name     = "assoofs",
4     .mount    = assoofs_mount,
5     .kill_sb  = kill_block_super,
6 };
```

2.3.3. Implementar una función que permita montar dispositivos con el nuevo sistema de ficheros: `assoofs_mount`

La función `assoofs_mount` permitirá montar un dispositivo de bloques con formato ASSOOFS. Se invocará cuando una vez registrado el nuevo sistema de ficheros un usuario utilice el comando `mount` con los argumentos `-t assoofs` entre otros. Su prototipo es el siguiente:

```
1 static struct dentry *assoofs_mount(struct file_system_type *fs_type,
2     int flags, const char *dev_name, void *data)
```

Para montar el dispositivo se utilizará la función `mount_bdev`, cuyo prototipo es el siguiente:

```
1 extern struct dentry *mount_bdev(struct file_system_type *fs_type,
2     int flags, const char *dev_name, void *data,
3     int (*fill_super)(struct super_block *, void *, int));
```

Sus argumentos son los mismos que `assoofs_mount`, con la excepción del último, que es un puntero a la función que queremos ejecutar para llenar nuestro superbloque. Nosotros llamaremos a esta función `assoofs_fill_super`.

Una vez llegados a este punto, podemos probar nuestra práctica siguiendo los comandos que se proponen en la Sección 3.1.

2.3.4. Implementar una función para inicializar el superbloque: `assoofs_fill_super`

El prototipo de `assoofs_fill_super` es el siguiente:

```
1 int assoofs_fill_super(struct super_block *sb, void *data, int silent)
```

`assoofs_fill_super` tiene que realizar las siguientes tareas y **devolver 0** si todo va bien:

1. Leer la información persistente del superbloque del dispositivo de bloques. En nuestro caso la información del superbloque está en el bloque 0.

Para manejar bloques utilizaremos variables de tipo `struct buffer_head`. Para leer bloques de disco se utiliza la función `sb_bread` que devuelve un `struct buffer_head`:

```
1 static inline struct buffer_head *sb_bread(struct super_block *sb, sector_t block)
2 {
3     return __bread(sb->s_bdev, block, sb->s_blocksize);
4 }
```

El primer argumento es un puntero al superbloque de nuestro sistema de ficheros, el segundo es el identificador de bloque (0, 1, ..., 63). Devuelve una variable de tipo `struct buffer_head`.

El contenido del bloque se almacena en el campo `b_data` del `struct buffer_head` devuelto por la función. Para acceder al contenido es preciso hacer un cast al tipo de datos que corresponda. Por ejemplo, para leer la información del superbloque en un sistema de ficheros ASSOOFS haremos lo siguiente:

```
1 struct buffer_head *bh;
2 struct assoofs_super_block_info *assoofs_sb;
3 bh = sb_bread(sb, ASSOOFS_SUPERBLOCK_BLOCK_NUMBER); // sb lo recibe assoofs_fill_super como argumento
4 assoofs_sb = (struct assoofs_super_block_info *)bh->b_data;
```

Después de utilizar el bloque podemos liberar la memoria asignada con la función `brelse`:

```
1 brelse(bh);
```

2. Comprobar los parámetros del superbloque, al menos: número mágico y tamaño de bloque.
3. Escribir la información persistente leída del dispositivo de bloques en el superbloque, representado por el parámetro `sb` de `assoofs_fill_super`, que no es otra cosa más que un puntero a una variable de tipo `struct super_block`:
 - Asignaremos el número mágico `ASSOOF_MAGIC` definido en `assoofs.h` al campo `s_magic` del superbloque `sb`.
 - Asignaremos el tamaño de bloque `ASSOOF_DEFAULT_BLOCK_SIZE` definido en `assoofs.h` al campo `s_maxbytes` del superbloque `sb`.

- Asignaremos operaciones (campo `s_op` al superbloque `sb`. Las operaciones del superbloque se definen como una variable de tipo `struct super_operations` como sigue:

```
1 static const struct super_operations assoofs_sops = {
2     .drop_inode    = generic_delete_inode,
3 };
```

- Para no tener que acceder al bloque 0 del disco constantemente guardaremos la información leída del bloque 0 del disco (en una variable de tipo `struct assoofs_super_block_info`, ver punto 1) en el campo `s_fs_info` del superbloque `sb`.

4. Crear el inodo raíz. Es necesario seguir los siguientes pasos:

- Para crear inodos utilizaremos la función `new_inode (*)`. Devuelve un puntero a una variable de tipo `struct inode` y recibe como argumento el superbloque del sistema de ficheros donde queremos crear el nuevo inodo.

```
1 extern struct inode *new_inode(struct super_block *sb);
```

`new_inode` reserva la memoria necesaria e inicializa una variable de tipo `struct inode`:

```
1 struct inode *root_inode;
2 root_inode = new_inode(sb);
```

- Después de inicializar el inodo, asignaremos propietario y permisos con la función `inode_init_owner`, cuyo prototipo se muestra a continuación:

```
1 extern void inode_init_owner(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *inode, const struct inode *dir, mode_t mode);
```

Y que se invoca como sigue:

```
1 inode_init_owner(sb->s_user_ns, root_inode, NULL, S_IFDIR); // S_IFDIR para directorios, S_IFREG para ficheros.
```

El tercer argumento se corresponde con el inodo del directorio que contiene el fichero o el directorio, que se corresponderá con el inodo padre del nuevo inodo. Indicando `NULL` en este argumento, estamos diciendo que el nuevo inodo no tiene padre, lo que sólo ocurre con el directorio raíz. En otro caso tendremos que indicar un inodo padre.

Después, asignaremos información al inodo. En concreto: el número de inodo; el superbloque del sistema de ficheros al que pertenece; fechas de creación, modificación y acceso; y operaciones que soporta el inodo. Para las operaciones sobre inodos utilizar la estructura definida en el apartado 2.3.5. Para las operaciones sobre archivos y directorios utilizar las estructuras definidas en el apartado 2.3.6. Además, en el campo `i_private` guardaremos un `struct assoofs_inode_info` con la información persistente del inodo.

```
1 root_inode->i_ino = ASSOOFS_ROOTDIR_INODE_NUMBER; // número de inodo
2 root_inode->i_sb = sb; // puntero al superbloque
3 root_inode->i_op = &assoofs_inode_ops; // dirección de una variable de tipo struct inode_operations previamente
    declarada
4 root_inode->i_fop = &assoofs_dir_operations; // dirección de una variable de tipo struct file_operations previamente
    declarada. En la práctica tenemos 2: assoofs_dir_operations y assoofs_file_operations. La primera la
    utilizaremos cuando creemos inodos para directorios (como el directorio raíz) y la segunda cuando creemos
    inodos para ficheros.
5 root_inode->i_atime = root_inode->i_mtime = root_inode->i_ctime = current_time(root_inode); // fechas.
6 root_inode->i_private = assoofs_get_inode_info(sb, ASSOOFS_ROOTDIR_INODE_NUMBER); // Información persistente del
    inodo
```

Guardaremos la información persistente del inodo en el campo `i_private`. Esta información está guardada en el disco, es el primer registro del almacén de inodos del bloque 1. Esta operación se realiza en más situaciones, por tanto, es interesante definir una función auxiliar para ello: `assoofs_get_inode_info`.

Por último tenemos que introducir el nuevo inodo en el árbol de inodos. Hay dos formas de hacer esto: la primera es solamente para el directorio raíz y sólo hay que hacerlo una vez; la segunda es para el resto de inodos.

- a) Cuando el nuevo inodo se trate del inodo raíz lo marcaremos como tal y lo guardaremos en el superbloque. Para ello, asignaremos el resultado de la función `d_make_root` al campo `s_root` del superbloque `sb`. El prototipo de `d_make_root` es el siguiente:

```
1 extern struct dentry * d_make_root(struct inode *);
```

Y se invoca como sigue:

```
1 sb->s_root = d_make_root(root_inode);
```

- b) Cuando se trate de un inodo normal (no raíz). Utilizaremos la función `d_add` para introducir el nuevo inodo en el árbol de inodos. Su prototipo es el siguiente:

```
1 static inline void d_add(struct dentry *entry, struct inode *inode);
```

Y se invoca como sigue:

```
1 d_add(dentry, inode);
```

El primer argumento es un puntero a una variable de tipo `struct dentry` que representa al directorio padre. Su valor nos vendrá dado como argumento en la función desde la que queramos crear un nuevo inodo. En nuestro caso: `assoofs_lookup`, `assoofs_create` y `assoofs_mkdir` (ver apartado 2.3.5).

El segundo argumento, es el `struct inode` que representa al nuevo nodo.

assoofs_get_inode_info Esta función auxiliar nos permitirá obtener la información persistente del inodo número `inode_no` del superbloque `sb`. Su prototipo es el siguiente:

```
1 struct assoofs_inode_info *assoofs_get_inode_info(struct super_block *sb, uint64_t inode_no);
```

Esta función realiza las siguientes tareas:

1. Acceder a disco para leer el bloque que contiene el almacén de inodos:

```
1 struct assoofs_inode_info *inode_info = NULL;
2 struct buffer_head *bh;
3
4 bh = sb_bread(sb, ASSOOFS_INODESTORE_BLOCK_NUMBER);
5 inode_info = (struct assoofs_inode_info *)bh->b_data;
```

2. Recorrer el almacén de inodos en busca del inodo `inode_no`:

```
1 struct assoofs_super_block_info *afs_sb = sb->s_fs_info;
2 struct assoofs_inode_info *buffer = NULL;
3 int i;
4 for (i = 0; i < afs_sb->inodes_count; i++) {
5     if (inode_info->inode_no == inode_no) {
6         buffer = kmalloc(sizeof(struct assoofs_inode_info), GFP_KERNEL);
7         memcpy(buffer, inode_info, sizeof(*buffer));
8         break;
9     }
10    inode_info++;
11 }
```

3. Liberar recursos y devolver a información del inodo `inode_no` si estaba en el almacén:

```
1 brelse(bh);
2 return buffer;
```

Una vez llegados a este punto, podemos probar nuestra práctica siguiendo los comandos que se proponen en la Sección 3.2.

2.3.5. Declarar una estructura e implementar funciones para manejar inodos

Para manejar inodos tenemos que declarar una estructura de tipo `struct inode_operations` como sigue:

```
1 static struct inode_operations assoofs_inode_ops = {
2     .lookup = assoofs_lookup,
3     .create = assoofs_create,
4     .mkdir = assoofs_mkdir,
5 };
```

Es necesario implementar las funciones para cada operación. Los siguientes sub-apartados explican los pasos a seguir para implementar cada una. Cuando alguna operación se repite en otras funciones se recomienda el uso de funciones auxiliares.

assoofs_lookup Esta función busca la entrada (`struct dentry`) con el nombre concreto (`child_dentry->d_name.name`) en el directorio padre (`parent_inode`). Se utiliza para recorrer y mantener el árbol de inodos. Su prototipo es el siguiente:

```
1 struct dentry *assoofs_lookup(struct inode *parent_inode, struct dentry *child_dentry, unsigned int flags);
```

El primer parámetro es el inodo del directorio padre. El segundo es la entrada que se busca en el directorio padre. El último parámetro sirve para definir una serie de flags pero no lo utilizaremos.

`assoofs_lookup` tiene que realizar las siguientes tareas:

1. Acceder al bloque de disco con el contenido del directorio apuntado por `parent_inode`.

```

1 struct assoofs_inode_info *parent_info = parent_inode->i_private;
2 struct super_block *sb = parent_inode->i_sb;
3 struct buffer_head *bh;
4 bh = sb_bread(sb, parent_info->data_block_number);

```

2. Recorrer el contenido del directorio buscando la entrada cuyo nombre se corresponda con el que buscamos. Si se localiza la entrada, entonces tenemos que construir el inodo correspondiente (*).

```

1 struct assoofs_dir_record_entry *record;
2 record = (struct assoofs_dir_record_entry *)bh->b_data;
3 for (i=0; i < parent_info->dir_children_count; i++) {
4     if (!strcmp(record->filename, child_dentry->d_name.name)) {
5         struct inode *inode = assoofs_get_inode(sb, record->inode_no); // Función auxiliar que obtiene la información de
        un inodo a partir de su número de inodo.
6         inode_init_owner(sb->s_user_ns, inode, parent_inode, ((struct assoofs_inode_info *)inode->i_private)->mode);
7         d_add(child_dentry, inode);
8         return NULL;
9     }
10    record++;
11 }

```

La operación de obtener la información de un inodo a partir de su número se realiza más veces, por tanto, es interesante definir una función auxiliar para ello: `assoofs_get_inode`.

3. En nuestro caso, la función debe devolver NULL, incluso cuando no se encuentre la entrada.

assoofs_get_inode Esta función auxiliar nos permitirá obtener un puntero al inodo número `ino` del superbloque `sb`. Su prototipo es el siguiente:

```

1 static struct inode *assoofs_get_inode(struct super_block *sb, int ino);

```

La función debe realizar las siguientes tareas:

1. Obtener la información persistente del inodo `ino`. Ver la función auxiliar `assoofs_get_inode_info` descrita anteriormente.
2. Crear una nueva variable de tipo `struct inode` e inicializarla con la función `new_inode` (antes utilizada (*) en la página 14). Asignar valores a los campos `i_ino`, `i_sb`, `i_op`, `i_fop`, `i_atime`, `i_mtime`, `i_ctime` e `i_private` del nuevo inodo.
 - Antes de asignar valor al campo `i_fop` debemos saber si el inodo que buscamos es un fichero o un directorio. Lo sabremos consultando el valor del campo `mode` de la información persistente del inodo obtenida en el paso 1. Para comprobarlo disponemos de las macros `S_ISDIR` y `S_ISREG`:

```

1 struct inode *inode;
2 inode_info = assoofs_get_inode_info(sb, ino);
3
4 if (S_ISDIR(inode_info->mode))
5     inode->i_fop = &assoofs_dir_operations;
6 else if (S_ISREG(inode_info->mode))
7     inode->i_fop = &assoofs_file_operations;
8 else
9     printk(KERN_ERR "Unknown inode type. Neither a directory nor a file.");

```

- Usaremos la función `current_time()` para asignar la fecha del sistema a los campos `i_atime`, `i_mtime` y `i_ctime` del nuevo inodo. El prototipo de la función es el siguiente:

```

1 struct timespec64 current_time(struct inode *inode);

```

- En el campo `i_private` del nuevo inodo guardaremos la información persistente del inodo obtenida en el paso 1.
3. Por último, devolvemos el inodo `inode` recién creado.

Una vez llegados a este punto, podemos probar nuestra práctica siguiendo los comandos que se proponen en la Sección 3.3.

assoofs_create Esta función nos permitirá crear nuevos inodos para archivos. Su prototipo es el siguiente:

```

1 static int assoofs_create(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode, bool excl);

```

El segundo parámetro es el inodo del directorio dónde se pretende crear el archivo al que apunta el nuevo inodo. El tercer parámetro representa la entrada en el directorio padre del nuevo archivo (de aquí sacaremos el nombre). El cuarto parámetro nos dice el modo del nuevo archivo (permisos). El último parámetro no lo utilizaremos.

assoofs_create tiene que realizar las siguientes tareas:

1. Crear el nuevo inodo, para ello **sigue los pasos descritos anteriormente (*) en la página 14**, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones adicionales:

- El número del nuevo inodo se asigna a partir de la información persistente del superbloque, que entre otras cosas dice cuantos inodos hay hasta el momento:

```
1 struct inode *inode;
2 uint64_t count;
3 sb = dir->i_sb; // obtengo un puntero al superbloque desde dir
4 count = ((struct assoofs_super_block_info *)sb->s_fs_info)->inodes_count; // obtengo el número de inodos de la
    información persistente del superbloque
5
6 inode = new_inode(sb);
7 inode->i_sb = sb;
8 inode->i_atime = inode->i_mtime = inode->i_ctime = current_time(inode);
9 inode->i_op = &assoofs_inode_ops;
10 inode->i_ino = count + 1; // Asigno número al nuevo inodo a partir de count
```

En este punto se debería comprobar que el valor de `count` no es superior al número máximo de objetos soportados en `assoofs` (`ASSOOFs_MAX_FILESYSTEM_OBJECTS_SUPPORTED`).

- Hay que guardar en el campo `i_private` la información persistente del mismo (`struct assoofs_inode_info`). En este caso, no llamo a `assoofs_get_inode_info`, se trata de un nuevo inodo y tengo que crearlo desde cero:

```
1 struct assoofs_inode_info *inode_info;
2 inode_info = kmalloc(sizeof(struct assoofs_inode_info), GFP_KERNEL);
3 inode_info->inode_no = inode->i_ino;
4 inode_info->mode = mode; // El segundo mode me llega como argumento
5 inode_info->file_size = 0;
6 inode->i_private = inode_info;
```

- Para las operaciones sobre ficheros utilizaremos `assoofs_file_operations`.

```
1 inode->i_fop=&assoofs_file_operations;
```

- Asignamos propietario y permisos, y guardamos el nuevo inodo en el árbol de directorios.

```
1 inode_init_owner(sb->s_user_ns, inode, dir, mode);
2 d_add(dentry, inode);
```

- Hay que asignarle un bloque al nuevo inodo, por lo que habrá que consultar el mapa de bits del superbloque. Esta operación se realiza más veces y es útil definir una función auxiliar para ello: `assoofs_sb_get_a_freeblock`. `assoofs_sb_get_a_freeblock` a su vez, tendrá que actualizar la información persistente del superbloque, en concreto el valor del campo `free_blocks`. Esta operación también se repite en más lugares por lo que se recomienda definir una función auxiliar: `assoofs_save_sb_info`.

```
1 assoofs_sb_get_a_freeblock(sb, &inode_info->data_block_number);
```

- Guardar la información persistente del nuevo inodo en disco (en el almacén de inodos). Esta operación se realiza más veces, por lo que puede ser útil definir una función auxiliar para ello: `assoofs_add_inode_info`.

```
1 assoofs_add_inode_info(sb, inode_info);
```

2. Modificar el contenido del directorio padre, añadiendo una nueva entrada para el nuevo archivo. El nombre lo sacaremos del tercer parámetro.

```
1 struct assoofs_inode_info *parent_inode_info;
2 struct assoofs_dir_record_entry *dir_contents;
3
4 parent_inode_info = dir->i_private;
5 bh = sb_bread(sb, parent_inode_info->data_block_number);
6
7 dir_contents = (struct assoofs_dir_record_entry *)bh->b_data;
8 dir_contents += parent_inode_info->dir_children_count;
9 dir_contents->inode_no = inode_info->inode_no; // inode_info es la información persistente del inodo creado en el paso 2.
10
11 strcpy(dir_contents->filename, dentry->d_name.name);
12 mark_buffer_dirty(bh);
13 sync_dirty_buffer(bh);
14 brelse(bh);
```

3. Actualizar la información persistente del inodo padre indicando que ahora tiene un archivo más. Se recomienda definir una función auxiliar para esta operación: `assoofs_save_inode_info`. Para actualizar la información persistente de un inodo es necesario recorrer el almacén y localizar dicho inodo, para ello se recomienda definir otra función auxiliar: `assoofs_search_inode_info`.

```

1 parent_inode_info->dir_children_count++;
2 assoofs_save_inode_info(sb, parent_inode_info);

```

4. Por último devolvemos el valor cero para indicar que todo ha ido bien.

```

1 return 0;

```

assoofs_sb_get_a_freeblock Esta función auxiliar nos permitirá obtener un bloque libre:

```

1 int assoofs_sb_get_a_freeblock(struct super_block *sb, uint64_t *block);

```

Para ello debe seguir los siguientes pasos:

- Obtenemos la información persistente del superbloque que previamente habíamos guardado en el campo `s_fs_info`:

```

1 struct assoofs_super_block_info *assoofs_sb = sb->s_fs_info;

```

- Recorremos el mapa de bits en busca de un bloque libre (bit = 1):

```

1 int i;
2 for (i = 2; i < ASSOOFS_MAX_FILESYSTEM_OBJECTS_SUPPORTED; i++)
3     if (assoofs_sb->free_blocks & (1 << i))
4         break; // cuando aparece el primer bit 1 en free_block dejamos de recorrer el mapa de bits, i tiene la posición
                // del primer bloque libre
5
6 *block = i; // Escribimos el valor de i en la dirección de memoria indicada como segundo argumento en la función

```

Antes de asignar el valor, conviene comprobar que no hemos alcanzado el número máximo de objetos en un sistema assoofs (`ASSOOFS_MAX_FILESYSTEM_OBJECTS_SUPPORTED`).

- Por último, hay que actualizar el valor de `free_blocks` y guardar los cambios en el superbloque. Devolveremos 0 si todo ha ido bien.

```

1 assoofs_sb->free_blocks &= ~(1 << i);
2 assoofs_save_sb_info(sb);
3 return 0;

```

assoofs_save_sb_info Esta función auxiliar nos permitirá actualizar la información persistente del superbloque cuando hay un cambio:

```

1 void assoofs_save_sb_info(struct super_block *vsb);

```

Para hacerlo, basta con leer de disco la información persistente del superbloque con `sb_bread` y sobrescribir el campo `b_data` con la información en memoria:

```

1 struct buffer_head *bh;
2 struct assoofs_super_block_info *sb = vsb->s_fs_info; // Información persistente del superbloque en memoria
3 bh = sb_bread(vsb, ASSOOFS_SUPERBLOCK_BLOCK_NUMBER);
4 bh->b_data = (char *)sb; // Sobreescribo los datos de disco con la información en memoria

```

Para que el cambio pase a disco, basta con marcar el buffer como sucio y sincronizar:

```

1 mark_buffer_dirty(bh);
2 sync_dirty_buffer(bh);
3 brelse(bh);

```

Una vez llegados a este punto, podemos probar nuestra práctica siguiendo los comandos que se proponen en la Sección 3.4.

assoofs_add_inode_info Esta función auxiliar nos permitirá guardar en disco la información persistente de un inodo nuevo:

```

1 void assoofs_add_inode_info(struct super_block *sb, struct assoofs_inode_info *inode);

```

- Acceder a la información persistente del superbloque (`sb->s_fs_info`) para obtener el contador de inodos (`inodes_count`).
- Leer de disco el bloque que contiene el almacén de inodos.

```

1 bh = sb_bread(sb, ASSOOFS_INODESTORE_BLOCK_NUMBER);

```

- Obtener un puntero al final del almacén y escribir un nuevo valor al final.

```
1 inode_info = (struct assoofs_inode_info *)bh->b_data;
2 inode_info += assoofs_sb->inodes_count;
3 memcpy(inode_info, inode, sizeof(struct assoofs_inode_info));
```

- Marcar el bloque como sucio y sincronizar.

```
1 mark_buffer_dirty(bh);
2 sync_dirty_buffer(bh);
```

- Actualizar el contador de inodos de la información persistente del superbloque y guardar los cambios.

```
1 assoofs_sb->inodes_count++;
2 assoofs_save_sb_info(sb);
```

assoofs_save_inode_info Esta función auxiliar nos permitirá actualizar en disco la información persistente de un inodo:

```
1 int assoofs_save_inode_info(struct super_block *sb, struct assoofs_inode_info *inode_info);
```

La función tiene que realizar lo siguiente:

- Obtener de disco el almacén de inodos.
- Buscar los datos de `inode_info` en el almacén. Para ello se recomienda utilizar una función auxiliar.

```
1 inode_pos = assoofs_search_inode_info(sb, (struct assoofs_inode_info *)bh->b_data, inode_info);
```

- Actualizar el inodo, marcar el bloque como sucio y sincronizar.

```
1 memcpy(inode_pos, inode_info, sizeof(*inode_pos));
2 mark_buffer_dirty(bh);
3 sync_dirty_buffer(bh);
```

- Si todo va bien devolvemos el valor cero.

assoofs_search_inode_info Esta función auxiliar nos permitirá obtener un puntero a la información persistente de un inodo concreto:

```
1 struct assoofs_inode_info *assoofs_search_inode_info(struct super_block *sb, struct assoofs_inode_info *start, struct
    assoofs_inode_info *search);
```

Para ello tenemos que recorrer el almacén de inodos, desde `start`, que marca el principio del almacen, hasta encontrar los datos del inodo `search` o hasta el final del almacén.

```
1 uint64_t count = 0;
2 while (start->inode_no != search->inode_no && count < ((struct assoofs_super_block_info *)sb->s_fs_info)->inodes_count) {
3     count++;
4     start++;
5 }
6
7 if (start->inode_no == search->inode_no)
8     return start;
9 else
10    return NULL;
```

assoofs_mkdir Esta función nos permitirá crear nuevos inodos para directorios. Su prototipo es el siguiente:

```
1 static int assoofs_mkdir(struct user_namespace *mnt_userns, struct inode *dir, struct dentry *dentry, umode_t mode);
```

El segundo parámetro es el inodo del directorio dónde se pretende crear el directorio al que apunta el nuevo inodo. El tercer parámetro representa la entrada en el directorio padre del nuevo directorio (de aquí sacaremos el nombre). El cuarto parámetro nos dice el modo del nuevo directorio (permisos).

Las tareas que tiene que realizar `assoofs_mkdir` son las mismas que `assoofs_create`, solamente cambian los siguientes valores:

```
1 inode->i_fop=&assoofs_dir_operations;
2 inode_info->dir_children_count = 0;
3 inode_info->mode = S_IFDIR | mode;
4 inode_init_owner(sb->s_user_ns, inode, dir, inode_info->mode);
```

El modo del nuevo inodo, que en el caso de los directorios se calcula a partir del argumento `mode` mediante la expresión `S_IFDIR | mode`.

Una vez llegados a este punto, podemos probar nuestra práctica siguiendo los comandos que se proponen en la Sección ??.

2.3.6. Declarar una estructura e implementar funciones para manejar archivos y directorios

Para manejar directorios tenemos que declarar una estructura de tipo `struct file_operations` como sigue:

```
1 const struct file_operations assoofs_dir_operations = {
2     .owner = THIS_MODULE,
3     .iterate = assoofs_iterate,
4 };
```

Para manejar ficheros tenemos que declarar una estructura de tipo `struct file_operations` como sigue:

```
1 const struct file_operations assoofs_file_operations = {
2     .read = assoofs_read,
3     .write = assoofs_write,
4 };
```

Es necesario implementar las funciones para cada operación. Los siguientes sub-apartados explican los pasos a seguir con cada una. En algunos casos se recomienda el uso de funciones auxiliares.

assoofs_iterate Esta función permite mostrar el contenido de un directorio. Para representar el contenido de un directorio se utiliza un `struct dir_context` que es necesario inicializar. El prototipo de `assoofs_iterate` es el siguiente:

```
1 static int assoofs_iterate(struct file *filp, struct dir_context *ctx);
```

`assoofs_iterate` debe realizar las siguientes tareas:

1. Acceder al inodo, a la información persistente del inodo, y al superbloque correspondientes al argumento `filp`:

```
1 struct inode *inode;
2 struct super_block *sb;
3 struct assoofs_inode_info *inode_info;
4
5 inode = filp->f_path.dentry->d_inode;
6 sb = inode->i_sb;
7 inode_info = inode->i_private;
```

2. Comprobar si el contexto del directorio ya está creado. Si no lo hacemos provocaremos un bucle infinito. Basta comprobar que el campo `pos` del contexto `ctx` es distinto de cero:

```
1 if (ctx->pos) return 0;
```

3. Hay que comprobar que el inodo obtenido en el paso 1 se corresponde con un directorio:

```
1 if (!(S_ISDIR(inode_info->mode))) return -1;
```

4. Accedemos al bloque donde se almacena el contenido del directorio y con la información que contiene inicializamos el contexto `ctx`:

```
1 struct buffer_head *bh;
2 bh = sb_bread(sb, inode_info->data_block_number);
3 record = (struct assoofs_dir_record_entry *)bh->b_data;
4 for (i = 0; i < inode_info->dir_children_count; i++) {
5     dir_emit(ctx, record->filename, ASSOOFS_FILENAME_MAXLEN, record->inode_no, DT_UNKNOWN);
6     ctx->pos += sizeof(struct assoofs_dir_record_entry);
7     record++;
8 }
9 brelse(bh);
10 return 0;
```

`dir_emit` nos permite añadir nuevas entradas al contexto. Cada vez que añadamos una entrada al contexto, debemos incrementar el valor del campo `pos` con el tamaño de la nueva entrada.

assoofs_read Esta función permite leer de un archivo. Su prototipo es el siguiente:

```
1 ssize_t assoofs_read(struct file *filp, char __user *buf, size_t len, loff_t *ppos);
```

El primer argumento representa el fichero que quiero leer. El segundo y el tercer argumento representan la dirección del buffer (en el espacio del usuario) y la longitud donde se copiarán los datos leídos del fichero `filp`. El último argumento es el desplazamiento respecto al principio del fichero desde donde empezará la lectura.

`assoofs_read` tiene que realizar las siguientes tareas:

- Obtener la información persistente del inodo a partir de `filp`:

```
1 struct assoofs_inode_info *inode_info = filp->f_path.dentry->d_inode->i_private;
```

- Comprobar el valor de `ppos` por si hemos alcanzado el final del fichero:

```
1 if (*ppos >= inode_info->file_size) return 0;
```

- Acceder al contenido del fichero.

```
1 struct buffer_head *bh;
2 char *buffer;
3
4 bh = sb_bread(filp->f_path.dentry->d_inode->i_sb, inode_info->data_block_number);
5 buffer = (char *)bh->b_data;
```

- Copiar en el buffer `buf` el contenido del fichero leído en el paso anterior con la función `copy_to_user`:

```
1 int nbytes;
2 buffer += *ppos; // Incrementamos el buffer para que lea a partir de donde se quedo
3 nbytes = min((size_t) inode_info->file_size - (size_t) *ppos, len); // Hay que comparar len con el tamaño del fichero
// menos os bytes leídos hasta el momento, por si llegamos al final del fichero
4 copy_to_user(buf, buffer, nbytes);
```

La función `copy_to_user` devuelve cero en caso de que haya ido todo bien, y el número de bytes que no ha podido leer en caso de error. Es necesario controlar el valor que devuelve.

- Incrementar el valor de `ppos` y devolver el número de bytes leídos.

```
1 *ppos += nbytes;
2 return nbytes;
```

assoofs_write Esta función permite escribir en un archivo. Su prototipo es el siguiente:

```
1 ssize_t assoofs_write(struct file *filp, const char __user *buf, size_t len, loff_t *ppos);
```

El primer argumento representa el fichero que quiero escribir. El segundo y el tercer argumento representan la dirección del buffer (en el espacio del usuario) y la longitud desde dónde se escribirán los datos en el fichero `filp`. El último argumento es el desplazamiento respecto al principio del fichero desde donde empezará la escritura. Los pasos a seguir son similares `assoofs_read` con algunas modificaciones:

- Comprobar que el valor de `ppos` mas la longitud de los datos que queremos escribir en el archivo, no sea superior al tamaño máximo del bloque:

```
1 if (*ppos + len >= ASSOOFS_DEFAULT_BLOCK_SIZE){
2     printk(KERN_ERR "No hay suficiente espacio en el disco para escribir.\n");
3     return -ENOSPC;
4 }
```

- Escribir en el fichero los datos obtenidos de `buf` mediante `copy_from_user`:

```
1 buffer = (char *)bh->b_data;
2 buffer += *ppos;
3 copy_from_user(buffer, buf, len)
```

La función `copy_from_user` devuelve cero en caso de que haya ido todo bien, y el número de bytes que no ha podido escribir en caso de error. Es necesario controlar el valor que devuelve.

- También hay que incrementar el valor de `ppos` (`*ppos+=len`) y marcar el bloque como sucio y sincronizarlo.

```
1 *ppos+=len;
2 mark_buffer_dirty(bh);
3 sync_dirty_buffer(bh);
```

- Por último, hay que actualizar el campo `file_size` de la información persistente del inodo y devolver el número de bytes escritos

```
1 inode_info->file_size = *ppos;
2 assoofs_save_inode_info(sb, inode_info);
3 return len;
```

Una vez llegados a este punto, hemos finalizado la parte básica de la práctica, la podremos probar, siguiendo los comandos que se proponen en la Sección ??.

3. Prueba tu práctica

3.1. Sesión 1: Compilación estructura básica

Se puede observar cómo después de insertar el módulo `assoofs.ko` en el kernel y posteriormente eliminarlo, la salida que nos proporciona `dmesg` es similar a la siguiente:

```
1 # make
2 # insmod assoofs.ko
3 # rmmod assoofs
4 # dmesg
5 [ 2424.977652] assoofs_init request
6 [ 2498.313133] assoofs_exit request
```

3.2. Sesión 2: Implementadas `assoofs_fill_super` y `assoofs_get_inode_info`

Al ejecutar el comando `"ls mnt"` no nos va a mostrar nada. Y al ejecutar el comando `"cat mnt/README.txt"` nos dirá que el archivo no existe. Eso no significa que la práctica no funcione, simplemente aún no hemos implementado esas funcionalidades en nuestro sistema de ficheros. Lo que nos interesa es que después de ejecutar la serie de comandos propuestos, la salida de `"dmesg"` sea igual (o similar si habéis introducido más trazas en vuestro código).

```
1 # make
2 # dd bs=4096 count=100 if=/dev/zero of=image
3 # ./mkassoofs image
4 # insmod assoofs.ko
5 # mkdir mnt
6 # mount -o loop -t assoofs image mnt
7 # ls mnt
8 # cat mnt/README.txt
9 cat: mant/README.txt: No such file or directory
10 # umount mnt/
11 # rmmod assoofs
12 # dmesg
13 [ 2424.977652] assoofs_init request
14 [ 2488.350933] assoofs_mount request
15 [ 2490.350233] assoofs_fill_super request
16 [ 2491.360933] Iterate request
17 [ 2492.375133] Lookup request
18 [ 2498.313133] assoofs_exit request
```

3.3. Sesión 3: Implementadas `assoofs_lookup` y `assoofs_get_inode`

Al ejecutar los comandos `"ls mnt"` y `"cat mnt/README.txt"` no va a mostrar nada. Eso no significa que la práctica no funcione, simplemente aún no hemos implementado esas funcionalidades en nuestro sistema de ficheros. Lo que nos interesa es que después de ejecutar la serie de comandos propuestos, la salida de `"dmesg"` sea igual (o similar si habéis introducido más trazas en vuestro código) a la siguiente:

```
1 # make
2 # dd bs=4096 count=100 if=/dev/zero of=image
3 # ./mkassoofs image
4 # insmod assoofs.ko
5 # mkdir mnt
6 # mount -o loop -t assoofs image mnt
7 # ls mnt
8 # cat mnt/README.txt
9 # umount mnt/
10 # rmmod assoofs
11 # dmesg
12 [ 2599.072866] assoofs_init request
13 [ 2603.323045] assoofs_mount request
14 [ 2603.323086] assoofs_fill_super request
15 [ 2633.411011] Iterate request
16 [ 2827.900930] Lookup request
17 [ 2827.901017] Read request
18 [ 2919.043868] assoofs_exit request
```

3.4. Sesión 4: Implementadas `assoofs_create`, `assoofs_sb_get_a_freeblock` y `assoofs_save_sb_info`

Después de ejecutar la serie de comandos propuestos, la salida de `"dmesg"` debe ser igual (o similar si habéis introducido más trazas en vuestro código) a la siguiente:

```
1 # make
2 # dd bs=4096 count=100 if=/dev/zero of=image
3 # ./mkassoofs image
4 # insmod assoofs.ko
5 # mkdir mnt
6 # mount -o loop -t assoofs image mnt
7 # touch mnt/hola.txt
8 # umount mnt/
9 # rmmod assoofs
10 # dmesg
11 [ 1749.065056] assoofs_init request
12 [ 1753.827504] assoofs_mount request
13 [ 1753.829193] assoofs_fill_super request
14 [ 1761.118820] Lookup request
15 [ 1761.118848] New file request
16 [ 1761.118854] assoofs_sb_get_a_freeblock request
17 [ 1761.118857] assoofs_save_sb_info request
18 [ 1761.119213] assoofs_add_inode_info request
19 [ 1761.119639] assoofs_save_inode_info request
20 [ 1768.136991] assoofs_exit request
```

A. Operaciones binarias sobre free_blocks

El siguiente programa ilustra las operaciones binarias necesarias sobre `free_blocks`:

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <math.h>
3 #include <limits.h>
4 #include <stdint.h>
5 #define pbit(v, ds)  !((v) & 1 << (ds))
6
7 void binary(int v) {
8     int i = 32;
9
10    while(i-->0) putchar(pbit(v, i) + '0');
11 }
12
13 int main() {
14     int i;
15
16     uint64_t value0 = (~0); // Complemento a 1 del valor 0
17     printf("Value-0 = Complemento a 1 del valor 0: ~0 --->\n\tBinario = ");
18     binary(value0);
19     printf(", decimal = %lu\n", value0);
20
21     uint64_t value1 = ~(15); // Complemento a 1 del valor 15 (1111)
22     printf("Value-1 = Complemento a 1 del valor 15 (1111): ~15 --->\n\tBinario = ");
23     binary(value1);
24     printf(", decimal = %lu\n", value1);
25
26     uint64_t value2 = (~0 & ~15); // Complemento a 1 del valor 0 AND complemento a 1 del valor 15 (1111)
27     printf("Value-2 = Value-0 AND Value-1: ~0 & ~15 --->\n\tBinario = ");
28     binary(value2);
29     printf(", decimal = %lu\n", value2);
30     printf("\n");
31
32     for (i=2; i<32; i++) {
33         printf("i = %d\n", i);
34
35         printf("          Value-2: ");
36         binary(value2);
37         printf("\n");
38         printf("          1 << %2d: ", i);
39         binary(1 << i);
40         printf("\n");
41         printf("          Value-2 & 1 << %2d: ", i);
42         binary(value2 & 1 << i);
43         if ((value2 & 1 << i) > 0)
44             printf(", (Value-2 & 1 << %2d) > 0 -> TRUE\n\n", i);
45         else
46             printf(", (Value-2 & 1 << %2d) > 0 -> FALSE\n\n", i);
47
48         printf("          Value-2: ");
49         binary(value2);
50         printf("\n");
51         printf("          ~(1 << %2d): ", i);
52         binary(~(1 << i));
53         printf("\n");
54         printf("          Value-2 & ~(1 << %2d): ", i);
55         value2 &= ~(1 << i);
56         binary(value2);
57         printf(", decimal = %lu\n\n", value2);
58     }
59
60     return 0;
61 }
```

B. Caché de inodos

La función `new_inode` vista en la página 14 (*) permite reservar memoria e inicializar un `struct inode`. Sin embargo, en alguna parte de nuestro programa necesitaremos reservar memoria para un `struct assoofs_inode_info`. En el kernel no podemos utilizar `malloc`, en su lugar usaremos `kmalloc` cuyo prototipo se muestra a continuación:

```
1 void *kmalloc(size_t size, gfp_t flags);
```

Para reservar memoria para un `struct assoofs_inode_info` lo haremos como sigue, utilizando el flag `GFP_KERNEL`:

```
1 struct assoofs_inode_info *inode_info;
```



```
2 inode_info = kmalloc(sizeof(struct assoofs_inode_info), GFP_KERNEL);
```

En caso de usar una caché de inodos, utilizaremos `kmem_cache_alloc` en lugar de `kmalloc`.

Mantener una caché con la información persistente de nuestros inodos mejorará el rendimiento de ASSOofs. Para hacerlo lo primero que tenemos que hacer es declarar una variable global en nuestro módulo de tipo `kmem_cache`.

```
1 static struct kmem_cache *assoofs_inode_cache;
```

Para inicializar la caché de inodos podemos utilizar la función `kmem_cache_create` como sigue:

```
1 assoofs_inode_cache = kmem_cache_create("assoofs_inode_cache", sizeof(struct assoofs_inode_info), 0, (SLAB_RECLAIM_ACCOUNT|
    SLAB_MEM_SPREAD), NULL);
```

Esto lo haremos en la función `assoofs_init`. También tenemos que liberar la caché cuando descarguemos el módulo del kernel. Para ello invocaremos a `kmem_cache_destroy` en `assoofs_exit`:

```
1 kmem_cache_destroy(assoofs_inode_cache);
```

Cuando queramos reservar memoria para la información persistente de un inodo lo haremos como sigue:

```
1 struct assoofs_inode_info *inode_info;
2 inode_info = kmem_cache_alloc(assoofs_inode_cache, GFP_KERNEL);
```

Las operaciones del superbloque del apartado 2.3.4 se definen como sigue:

```
1 static const struct super_operations assoofs_sops = {
2     .drop_inode    = generic_delete_inode,
3 };
```

Si usamos una caché de inodos, tendremos que crear nuestra propia función para eliminar inodos en lugar de utilizar `generic_delete_inode`. La función para borrar inodos tiene que parecerse a la siguiente:

```
1 int assoofs_destroy_inode(struct inode *inode) {
2     struct assoofs_inode *inode_info = inode->i_private;
3     printk(KERN_INFO "Freeing private data of inode %p (%lu)\n", inode_info, inode->i_ino);
4     kmem_cache_free(assoofs_inode_cache, inode_info);
5     return 0;
6 }
```

C. Uso de semáforos para bloquear recursos compartidos

Algunos recursos compartidos deben protegerse de accesos concurrentes. Cómo mínimo, el superbloque y el almacén de inodos. Para declarar un semáforo mutex nuevo utilizaremos la macro `DEFINE_MUTEX` como sigue:

```
1 static DEFINE_MUTEX(assoofs_sb_lock);
```

Para bloquear el mutex usaremos la función `mutex_lock_interruptible`:

```
1 mutex_lock_interruptible(&assoofs_sb_lock);
```

Para desbloquearlo, usaremos `mutex_unlock`:

```
1 mutex_unlock(&assoofs_sb_lock);
```