

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

TEMA

Diseño de un Modelo de programación entera para la calendarización de los partidos de la Serie A de la primera división del fútbol ecuatoriano.

PROYECTO DE GRADUACIÓN (dentro de una materia de la malla)

Previo a la obtención del Título de:
Ingeniero en Logística y Transporte

Presentado por
Alexander Nazareno
Diego López

Guayaquil-Ecuador
2013

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a mi familia, por el esfuerzo, apoyo, confianza, comprensión y amor que siempre me han sabido brindar, son el motivo para superarme cada día y, el pilar fundamental que me inspira a seguir enriqueciendo mis conocimientos académicos y personal. Mediante sus experiencias y enseñanzas he aprendido que un individuo no se rinde jamas, siempre lucha por sus objetivos y aprovecha el tiempo al máximo ya que al igual que la vida es algo que no se recupera.

Alexander Nazareno

El presente trabajo se lo dedico a mi maravillosa madre quien con mucho esfuerzo siempre me ha brindado su apoyo incondicional en todo el transcurso de mis estudios así como a lo largo de toda mi vida. A mi hermano Danny quien siendo menor que yo ha sido un gran ejemplo a seguir demostrándome que uno nunca debe darse por vencido y siempre debe luchar por lo que anhela y desea.

Diego López

Agradecimiento

Me siento muy complacido de tener la oportunidad de implementar los conocimientos adquiridos en esta prestigiosa Universidad en la elaboración de este proyecto, luego de ello proceder a agradecer primeramente a Dios ya por medio de su bendición y misericordia me dota cada día de sabiduría y me permite ampliar mis conocimientos. También a mi familia por la confianza y el apoyo incondicional que me han sabido brindar, a mis profesores por que mediante su enseñanza han forjado mi crecimiento académico, y finalmente a todos mis compañeros por las vivencias que hemos compartido juntos tanto en las aulas como en las canchas; me llevo gratos recuerdos. Gracias a todos por las experiencias adquiridas en esta trayectoria.

Alexander Nazareno

Agradezco primeramente a mi Dios, porque sin el hoy no estaría aquí, gracias a su inmenso amor hoy gozo de tener una familia hermosa, quienes son mi motivo de lucha y de superación. Adicional agradezco enormemente a cada uno de los Maestros y grandes amigos que en el transcurso de mis estudios me han ayudado a crecer como profesional y como persona.

Diego López

Declaración Expresa

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Pregrado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma al FCNM (Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas) de la ESPOL (Escuela Superior Politécnica Del Litoral)

Alexander Nazareno

Diego López

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

M.Sc. Erwin Delgado Bravo
DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Xavier Cabezas García
VOCAL

Índice general

1. Introducción	11
1.1. Descripción de la problemática	14
1.1.1. Sistema del Campeonato de la Serie A	14
1.1.2. Asociación Deportiva del Guayas(Asoguyas)	16
1.1.3. Análisis de la problemática	17
1.2. Hipótesis	19
1.3. Objetivos del Proyecto	19
1.3.1. Objetivo General	19
1.3.2. Objetivos Específicos	19
2. Marco Teórico	20
2.1. Revisión de literatura	20
2.1.1. Elaboración de calendarios de Fútbol	22
2.2. Programación Entera	30
2.3. Optimización Combinatoria	31
2.4. Scheduling	32
2.4.1. Timetabling	33
3. Definición de requerimientos	34
3.1. Información de Ámbito Nacional	35
3.1.1. Clasificación Histórica de equipos de la Serie A	35
3.1.2. Clásicos del Fútbol de Ecuador de la serie A	36
3.1.3. Información basada en el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol del 2012	38
3.1.4. Información sobre el Campeonato Ecuatoriano de futbol del 2013	40
3.2. Información de Ámbito Internacional	42
3.2.1. Fechas de partidos FiFa y No FiFa	42
3.2.2. Fechas de partidos de la Copa Bridgestone Libertadores 2013 . .	43
4. Modelamiento del Problema	45
4.1. Conjuntos	46
4.2. Variables de Decisión	47
4.3. Restricciones	48
4.3.1. Restricciones del Campeonato ecuatoriano	48
4.3.2. Restricciones de equidad deportiva	53

4.3.3. Restricciones de Copa Libertadores	55
4.3.4. Función Objetivo	55
5. Implementación computacional y Análisis de Resultados	56
6. Conclusiones y Recomendaciones	63
7. Anexos	66

Índice de figuras

3.1. Clasificación histórica-De equipos de la Seriea A	36
3.2. Tabla Acumulada del Campeonato 2012	38
3.3. Equipos ascendidos a la serie A y descendidos a la serie B en el 2012 . .	40
3.4. Equipos participantes de campeonato 2013	41
3.5. Equipos por provincia año 2013	41
5.1. Restricciones Básicas	58
5.2. Parte de la solución que se presenta en el doc.txt	58
5.3. Calendario Oficial del Campeonato Ecuatoriano 2013	60
5.4. Calendario obtenido con el Modelo - tiempo 8000 segundos	61
7.1. Conjuntos del Modelo	66
7.2. Variables Binarias del Modelo	67
7.3. Restrinciones Basicas	67
7.4. Restrinciones de popularidad y casos especiales	68
7.5. Restrinciones de la Equidad deportiva	68
7.6. Restrinciones sobre Copa Libertadores	68
7.7. Ejecución del Modelo y su Exportación a doc.txt	69
7.8. Parte de la solución que se presenta en el doc.txt	70
7.9. Cronograma del Campeonato Ecuatoriano 2013	71

Índice de tablas

3.1. Fechas de Partidos FIFA 2013 de la Selección <i>Fuente:FIFA</i>	42
3.2. Fechas de Partidos no FIFA 2013 de la Selección <i>Fuente:FIFA</i>	43
3.3. Fechas de partidos de la Segunda Fase <i>Fuente:CONMEBOL</i>	44

Resumen

El presente trabajo se centra en la confección del calendario de juegos de la Primera División del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol profesional de la Serie A, el cual se desarrollará como un proyecto de La Asociación Deportiva del Guayas (Asoguyas), basándose en un enfoque de programación entera, usando como herramienta computacional GAMS y como solver el CPLEX, se tratará de implementar una serie de técnicas y procedimientos que permitan obtener buenos resultados en un tiempo prudente.

Capítulo 1

Introducción

El fútbol ha pasado de ser solo un deporte a ser una pasión para muchos, sin importar religión, edad y género. En Ecuador es considerado uno de los deportes más populares por las multitudes que llenan los estadios semana a semana y que representan un ingreso muy fuerte tanto para los clubes ecuatorianos, como para las televisoras.

El planificar y desarrollar los proyectos de calendarios deportivos por sus múltiples condiciones que se necesitan satisfacer basándose en lograr mayores beneficios económicos para los clubes, hacer el torneo más llamativo para el público en general, cumplir con las exigencias de **Federación Ecuatoriana de Fútbol (FEF)**, así como intentar encontrar mecanismos de equilibrio deportivo que beneficien a todos, se ha convertido en un problema combinatorio de difícil resolución. Es por esto que en la actualidad las diferentes asociaciones deportivas del Ecuador como la Asociación Deportiva del Guayas (Asoguayas), les resulta muy complicado y costoso elaborar un buen calendario que satisfaga muchas de las restricciones importantes y por tal motivo, en la mayoría de casos lo realizan manualmente y solo lo hacen porque es un requisito del Comité Ejecutivo de

Fútbol Profesional; quien les pide al inicio de cada campeonato nacional su propuestas de proyecto, ya que en base a estos, se elegirá la mejor propuesta y será la que se aplique en el campeonato actual de fútbol . Por tal motivo en el transcurso de este proyecto lo que se pretende es desarrollar un calendario deportivo de juegos, que de cierta manera se enfoque en satisfacer los problemas y necesidades que se presentan en el Asoguayas.

Hay que considerar que al momento de obtener una solución al problema de calendariación de juegos, se encontrará que en la mayoría de casos existe más de una solución factible, esto lo hace un problema de optimización combinatoria interesante de estudiar y de aplicar, es por eso que a los problemas de armado de calendarios de juegos se los considera dentro de la clase de los NP-completos. Así mismo es importante hacer notar que no es suficiente obtener un buen calendario de juegos que cumpla con todas las especificaciones propuestas, sino que es necesario que el programa, sistema o herramienta que permitió obtener dicha solución lo haga de una manera rápida y eficaz, para que las asociaciones deportivas puedan usarlo fácilmente cuando lo requieran, ya sea que necesiten modificar, aumentar o eliminar alguna restricción del modelo básico realizado con rapidez por cuestiones de acuerdos o negociaciones futuras entre clubes, asociaciones o cualquier factor que puede ser cambiante.

En el transcurso de este capítulo se hará un enfoque más detallado sobre cómo se desarrolla el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol Profesional de la Serie A, así también se hablará sobre La Asociación Deportiva del Guayas (Asoguayas), se analizará a

fondo cual es la problemática que tiene, de la misma manera se describirá cuáles son los objetivos del presente proyecto y lo que se pretende conseguir. En el capítulo 2 se presenta todo el marco teórico sobre el cual se basa y desarrollará el actual proyecto, luego se menciona brevemente un pequeño resumen de la literatura existente referente a la planificación de calendarios de juegos que tiene relación con el enfoque de este trabajo. En el capítulo 3 se hablará sobre los requerimientos del problema, en el capítulo 4 se profundizará en la resolución en sí del problema; es decir, el desarrollo del modelo matemático, se describirá detalladamente algunas características sobre el armado del calendario de juegos, las condiciones y requisitos que tienen prioridad y las que están en segundo plano así como cuál será el enfoque para desarrollar el modelo matemático. Ya en el capítulo 5 se trabajará la parte computacional, se analizará los resultados obtenidos con GAMS y según lo que se obtenga, se dará paso a desarrollar el capítulo 6 donde se procederá a presentar las conclusiones y recomendaciones respectivas del análisis y resolución del problema.

1.1. Descripción de la problemática

La Federación Ecuatoriana de Fútbol (FEF), es la responsable de organizar anualmente el campeonato ecuatoriano de fútbol de Primera y Segunda Categoría desde 1957 y que por razones comerciales ha cambiado su nombre a Copa Credife desde el año 2009.

El Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional es el organismo de la FEF, que tiene la potestad de aprobar los proyectos de calendarios de juegos presentados las asociaciones provinciales o por los clubes de la serie A y B de Primera Categoría, que conforman la Copa Credife. Tales proyectos serán aprobados siempre que se basen en los siguientes criterios dispuestos por el reglamento del Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional:

1. Los clubes deberán actuar, alternativamente, como locales y visitantes; y,
2. Las asociaciones con dos o más clubes, tendrán programaciones todas las fechas, y las demás una quincenal.

1.1.1. Sistema del Campeonato de la Serie A

El campeonato ecuatoriano de la primera categoría, serie “A”, se jugará en tres etapas al año, con partidos de ida y vuelta en cada una de ellas, y de acuerdo con lo previsto en el reglamento del Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional.

- **Primera etapa y Segunda etapa:** Los 12 clubes de primera categoría serie “A”, jugarán bajo el sistema de todos contra todos con partidos de ida y vuelta.

Al término de esta etapa, el club que se ubique en primer lugar clasificará para el

campeonato que organiza la Confederación Sudamericana de Fútbol denominado “Copa Bridgestone Sudamericana”, del siguiente año; y, adicionalmente, clasificará para disputar el título de campeón del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol y su ubicación como Ecuador 1 o Ecuador 2 en el antes indicado campeonato internacional y en el “Campeonato Santander Libertadores de América”, del siguiente año.

- **Tercera etapa:** Los clubes de la primera categoría, serie “A”, que sumados los puntos obtenidos en la primera y segunda etapas, queden en último y penúltimo lugares, aun cuando hubieren clasificado para disputar la tercera etapa, pasarán a integrar la serie “B” del siguiente año. El club que habiendo quedado en primer lugar en la primera etapa repita su ubicación quedando en primer lugar en la segunda etapa, automáticamente, obtendrá el título de campeón del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol y se clasificará como Ecuador 1 tanto para el “Campeonato Santander Libertadores de América” y la “Copa Bridgestone Sudamericana”, ambas del siguiente año.

1. Los clubes que se ubiquen en el tercero y cuarto lugares, luego de la suma de puntos y goles obtenidos en las dos etapas anteriores, disputarán dos partidos de ida y vuelta, al término de los cuales el ganador clasificará como Ecuador 3 para el Campeonato Santander Libertadores de América, y, el perdedor clasificará como Ecuador 3 para la Copa Bridgestone Sudamericana, ambas del siguiente año.

2. Los clubes que se ubiquen en el quinto y sexto lugares, luego de la suma de puntos y goles obtenidos en las dos etapas anteriores, disputarán dos partidos de ida y vuelta, al término de los cuales el ganador clasificará como Ecuador 4 para la Copa Bridgestone Sudamericana del siguiente año.

1.1.2. Asociación Deportiva del Guayas(Asoguayas)

Según el artículo escrito por Efrén Avilés [22], La Asociación Deportiva del Guayas (Asoguayas), es una entidad netamente guayaquileña, fundada el 20 de noviembre de 1950, sin fines de lucro, es la encargada de fomentar y controlar el fútbol no aficionado en la provincia del Guayas. La Asoguayas, como también se conoce a la institución rectora del balompié porteño, destaca siempre especial prestigio para muchos otros de sus afiliados que en el trayecto de la vida de la Asociación, han mantenido su participación con exitosos logros, han conquistado títulos nacionales y participado en los torneos Copa Libertadores de América en sus respectivos momentos, aquí están inmersos clubes como Deportivo Everest, 9 de Octubre, Valdez S.C. y Filanbanco, entre otros.

La Asoguayas se preocupa por fomentar el desarrollo del fútbol provincial y por eso mantiene los torneos de Segunda División, en los que intervienen jugadores de hasta 23 años; también realiza campeonatos intercolegiales, interprovinciales; y, además, planea organizar competencias internacionales, similares a la Copa Cantolao de Perú; Tahuichi Aguilera de Bolivia, y Mundialito de Venezuela. Desde su fundación, la Asoguayas ha

obtenido sonados y brillantes triunfos. Son frutos de la actividad deportiva y administrativa de esta Asociación, los clubes Barcelona Sporting Club y Club Sport Emelec, que, al momento, tienen a su haber grandes conquistas, buena representación a nivel nacional e internacional y están considerados entre los grandes del fútbol en Sudamérica.

1.1.3. Análisis de la problemática

Para la Asociación Deportiva del Guayas (Asoguayas), el problema de calendarización de juegos no es tarea fácil, su creación requiere un laborioso trabajo para lograr obtener un beneficio para todas las partes, es por eso que en la actualidad en nuestro país, las diversas asociaciones provinciales no destinan el tiempo adecuado, ni los recursos necesarios para obtener un calendario equitativo para todos los clubes, sino que buscan, solo el beneficio de los clubes que los representan. Es importante acotar que es obligación de cada asociación, presentar un proyecto de calendario de juegos ante el Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional, pero esto no se aplica para los clubes, ya que ellos pueden o no, presentar su proyecto según les convenga. Es por eso, que se puede dar el caso que en muchas ocasiones las asociaciones con sus respectivos clubes pertenecientes pueden realizar convenios para lograr un calendario de juegos a presentar que beneficie a todos.

En el caso de Asoguayas, la elaboración de su proyecto de calendario de juegos, se lo asigna a una sola persona quien tiene que presentar una propuesta de proyecto una semana antes de presentarse el calendario oficial del Comité Ejecutivo de Fútbol Pro-

fesional. Para esta y muchas otras asociaciones, es complicado el tema de elaborar un calendario de juegos debido a que como se mencionó antes, se necesita de tiempo y personal capacitado para desarrollar un calendario factible que cumpla con todas las condiciones físicas, geográficas y económicas; considerando también los calendarios oficiales de las fechas FIFA , fechas No FIFA y los torneos internacionales como la Copa Santander Libertadores de América, y la Copa Bridgestone Sudamericana.

A diferencia de Asoguayas y otras asociaciones más que realizan su propuesta de calendario manualmente, la Asociación de Fútbol No Amateur de Pichincha (AFNA) en la actualidad realiza su propuestas de calendario de juegos, basándose en modelos matemáticos que en efecto por la complejidad de su desarrollo y de su análisis detallado de las condiciones que se presentan a lo largo del campeonato brindan buenos resultados, lo que conlleva a que el Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional elija cada año como calendario oficial a la propuesta de la AFNA. Para este año 2012 se está utilizando el calendario propuesto por la AFNA, que fue desarrollado por docentes del Departamento de Matemática de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) [21]. Por este motivo el enfoque del presente proyecto se basará en realizar un estudio detallado de la problemática de la calendarización de juegos, tratando por medio de modelos matemáticos encontrar una buena solución y así encontrar un buen calendario que beneficie a la Asoguayas.

1.2. Hipótesis

Se plantea un Modelo Matemático basado en programación entera que cumpla con las restricciones establecidas por el reglamento del Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional para el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol, entonces podremos obtener un calendario de juego óptimo que sea equitativo para lograr tener un campeonato muy atractivo.

1.3. Objetivos del Proyecto

1.3.1. Objetivo General

Adoptar una nueva metodología basada en Herramientas computacionales, para obtener propuestas de calendarios de juegos factibles que cumpla con los requerimientos que se tienen en el fútbol Ecuatoriano.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un modelo matemático con programación entera e implementarlo en el software gams, para obtener calendarios de juegos factibles.
- Presentar este proyecto como propuesta a la Asoguayas y compararlo con la metodología que se usa en otras asociaciones provinciales referente a la construcción de calendarios de juegos óptimos en el menor tiempo posible.
- Tener una atractiva programación de los partidos de primera división del fútbol ecuatoriano, tanto para los clubes como para el público en general.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Revisión de literatura

En la actualidad existe una extensa literatura referente a **Problemas de calendarización** aplicados a diferentes áreas como al trabajo, la educación, la medicina, el transporte, los deportes y así muchos temas más, en general se cuenta con una buena base que va a servir de guía y ayuda para el presente proyecto. Se entiende por **Problemas de calendarización**, a la programación de tareas, trabajos, actividades u horarios que tienen que acoplarse a los requerimientos que se piden, tratando de cumplir las restricciones que se tienen para dicho problema, haciendo uso de todos los recursos y herramientas que sean necesarias y estén disponibles teniendo en cuenta siempre el factor tiempo que es muy importante al momento de su desarrollo.

A simple vista parecería que la resolución de esto es algo fácil, pero en realidad al momento de hacerlo no es así, puede llegar a ser algo complejo de resolver debido a que calendarizar un campeonato deportivo en general, depende de muchos factores y

condiciones específicas en las cuales se realiza y muchas veces el tratar de cumplir todos estos requerimientos, es un trabajo complicado. Se ha visto en ocasiones que al elaborar estos horarios de forma manual, el resultado obtenido muchas veces no es el esperado debido a que muchas restricciones del problema no se cumplen y si se llegan a aplicar de manera formal siempre algunas de las partes (ya sean los clubes que participan en el campeonato, los directivos, las asociaciones, las televisoras que emiten los partidos o los televidentes), saldrán perjudicados por dichos horarios. Adicionalmente se debe mencionar que cada país tiene sus propias condiciones y requerimientos por lo tanto no existe un método general que resuelva el problema, por lo que se debe diseñar uno que se adapte al problema que tenemos.

En la literatura encontraremos algunos métodos para la resolución de esta problemática así mencionaremos dos de los más importantes y conocidos:

- **Resolución por medio de Programación Lineal (ILP):** Que en resumen trabaja con un conjunto de restricciones (Ecuaciones) referente a las condiciones que se quiere que cumpla el problema y una Función Objetivo(FO) que será lo que se maximiza o minimiza en función del objetivo a fin que se desea obtener. Por medio de este método se encuentran resultados óptimos.
- **Resolución por medio de heurísticas y meta heurísticas:** Se trata de un método exploratorio durante la resolución del problema en el cual la solución se descubre por la evaluación del progreso logrado en la búsqueda de un resultado final. Por medio de este método se encuentran soluciones aproximadas, de tal forma

que si se realiza un buen diseño podremos llegar a estar cerca del óptimo. Entre las más usadas tenemos, Recorrido simulado, Algoritmos genéticos, Búsqueda Tabú.

Muchas veces el desarrollo de un problema por medio de **ILP** es un poco complejo, puesto que en ocasiones para formular ciertas restricciones va a depender bajo qué condiciones y bajo qué situación se encuentra actualmente la problemática. Es por eso que las heurísticas y meta heurísticas son otra alternativa de resolución del problema, se obtiene solo soluciones aproximadas pero facilita de una manera u otra el trabajo.

En general, en la literatura se puede encontrar una gran cantidad de información dentro de trabajos muy completos que dan solución a los problemas que se presentan en las diversas ligas de los distintos deportes, pero mucha de esta literatura está en un ámbito teórico, es decir no se la ha aplicado en la vida real por ese motivo traemos a mencionar distintos trabajos que se han aplicado en los diferentes deportes.

2.1.1. Elaboración de calendarios de Fútbol

Para este proyecto nos enfocaremos en el área de deportes y analizaremos más a fondo su problemática, específicamente estudiaremos y resolveremos la Calendarización de horarios de un campeonato de fútbol.

Particularmente se tomará como base el trabajo realizado por Durán et al. [6] donde se muestra la confección del calendario que se utilizó en el campeonato de apertura del 2005 de Chile, el cual es modelado y resuelto en base a programación entera, así como también

Wolf Rodrigo [18] confeccionó el calendario de la Primera A y B del fútbol profesional chileno para su temporada de apertura 2009 también con programación entera y para finalizar el trabajo de Morales [9], el cual será una gran guía para el desarrollo de nuestro proyecto, debido a que primeramente se realiza y centra profundamente en la problemática que vamos a desarrollar en nuestro trabajo, con ciertas variaciones y por el uso de la combinación de programación entera y procedimientos heurísticos para su desarrollo.

En el *Fútbol* sobresalen los siguientes trabajos: Schreuder [13] aplicó aspectos combinatorios utilizando programación lineal entera en la temporada 1989-1990 a la liga holandesa. El objetivo de este problema es minimizar los breaks y maximizar el número de restricciones cumplidas.

Bartsch [2] elaboró un modelo de programación entera enfocado en 2 ligas internacionales, la alemana para la temporada 1997-1998 y la austriaca de la temporada 1997-1998 hasta 2004-2005.

Rasmussen [12] utiliza un enfoque de resolución se basa en programación entera y se apoya de técnicas como generación de columnas, para el calendario de la liga de Dinamarca para la temporada 2006-2007.

Luego Goossens y Spieksma [8] usan programación entera y un enfoque de 2 fases, en la primera se generan patrones y en la segunda se asignan patrones a equipos, finalizando con el uso de tabu search para mejorar las soluciones; en el caso de la liga belga que está en uso desde la temporada 2007-2008.

Desde el año 2008, Truls y Nilssen [15] programan por medio de modelos matemáticos la liga noruega así como la liga brasilera a partir del 2009 por Urrutia y Ribeiro [16].

Y como último trabajo Vaca et al. [21] desarrollaron el calendario del Campeonato Nacional del Fútbol de Ecuador de la serie A en la presente temporada, donde para su resolución aplicaron programación lineal en primera instancia y luego un método de aproximación o heurístico que permite encontrar otras alternativas de calendario óptimo.

Lo que caracteriza a estos problemas es que consisten en n equipos (donde n es par), que se enfrentan entre sí k veces. Las fechas disponibles son $(n - 1)k$, en cada fecha todos los equipos deben jugar un partido. Luego en cada fecha $f = 1, \dots, (n - 1)k$; se debe determinar que equipos juegan entre sí y quien juega de local o de visita. Estos problemas se los denomina *Round Robin Tournament Problem* (RRTP). Si $k = 1$ entonces se trata de un *Single RRTP* y si $k = 2$ se le llama *Double RRTP*. En este último caso el campeonato puede ser **espejado** (es decir, se mantiene el orden de los partidos invirtiendo las localías) o **no espejado**.

Por lo tanto, para resolver el presente problema se necesitará de una buena planificación que requerirá de un mayor esfuerzo tanto humano como computacional para una buena elaboración del calendario de juegos.

Continuando, se realizará un estudio detallado de la literatura sobre Rasmussen [11]

para la calendarización de deportes que será importante para este estudio. Se exponen las contribuciones presentadas durante los últimos 30 años los cuales están divididos en dos grupos:

1. Minimizar el número de breaks

Existen varias instancias para los métodos de solución para resolver el problema de minimizar el número de breaks:

De Werra [5] resume la mayoría de los resultados obtenidos donde por primera vez se considera restricciones de lugar. Donde los horarios con marcadores de posición se generan y, para cada horario, los equipos están asignados a los marcadores de posición mediante la construcción de un factor en un grafo bipartito. El gráfico bipartito contiene un nodo para cada equipo, un nodo para cada marcador de posición, y una arista entre un equipo i y un marcador de posición j si el patrón de marcador de posición j satisface las restricciones de lugar del equipo i . Si un factor se puede construir en el grafo bipartito tenemos una solución viable y de lo contrario, pasar a la siguiente programación. Este es el primer paso hacia los métodos de descomposición que se presentó anteriormente con Rasmussen y M. Trick [11].

Mencionamos y hacemos nuevamente referencia en esta parte de una manera mas concreta el trabajo de Schreuder [13] en el cual se pretende enseñar un caso donde

se aplica y se muestra el uso de descomposición en pasos, para la resolución del problema, que resuelve un “*Mirrored double round robin problema*” de la liga holandesa de fútbol profesional y el cual utiliza un enfoque de dos fases que se asemeja al método utilizado por De Werra [5]. El problema de asignación de los equipos a los marcadores de posición se formula como una asignación cuadrática y se resuelve el problema por un método heurístico.

En 1998 Nemhauser y Trick [10], programan el calendario de los equipos del torneo de baloncesto de la Conferencia de la Costa Atlántica integrado por nueve equipos universitarios de los Estados Unidos para la temporada 1997-1998. En su enfoque de los cuatro pasos se utilizan, pero en lugar de utilizar un diseño combinatorio, como se ve en los enfoques anteriores, utilizan programación entera combinado con técnicas de enumeración para obtener conjuntos de patrones (igual al número de equipos) y luego de esto obtener un calendario factible.

Luego de esto, Trick [14] motivado en resolver los problemas de minimización de breaks, por discusiones sobre el orden de los cuatro pasos de la solución. Argumenta que los pasos deben ser ordenados de tal manera que los aspectos más críticos de la agenda son considerados a principios del proceso de solución. El método combina CP e IP mediante el uso de CP para la Fase 1 y la Fase 2 para IP.

2. Minimizar la distancia que recorren los equipos durante el campeonato

En la aplicación práctica contamos con la siguiente literatura.

La minimización de la distancia de viaje se vuelve considerable, cuando los equipos viajan de un partido fuera de casa a otro sin volver a casa. En esta configuración enormes ahorros se pueden obtener cuando los viajes largos se aplican y equipos ubicados muy juntos son visitados en el mismo viaje. En 2001 Easton, Nemhauser y Trick [7] propuso el “*Traveling tournament problem*”.

El **TTP** está motivado por el problema de la programación de las grandes ligas de béisbol y está formulado para encontrar las principales dificultades de reducir al mínimo la distancia de recorrido para una liga deportiva.

Mediante el uso del **TTP** y tomarlo como referencia en los diversos problemas, es posible desarrollar y comparar con otros métodos de solución desarrollados por otros autores que, después, pueden especializarse para las diversas limitaciones presentes en las aplicaciones prácticas.

Campbell y Chen [4] presentaron el primer documento considerando el problema de la programación de una conferencia de baloncesto de diez equipos. Se trata de un relajado torneo a doble vuelta todos contra todos y los equipos están autorizados para jugar en la mayoría de los dos juegos de distancia consecutivos sin volver a casa. Para resolver el problema, un enfoque 2-fases se aplica. La solución óptima corresponde a un emparejamiento de los equipos (los bordes restantes)

que minimiza la distancia total entre los equipos emparejados. Este emparejamiento es independiente del equipo para el que se minimiza la distancia de viaje. En Ball y Webster [1] se resuelve un problema de programación similar para una conferencia de baloncesto en su artículo de 1977. Ellos primeramente modelan el problema usando una formulación de IP pero el problema es demasiado grande para resolver y, en su lugar, un método de solución heurística muy similar al método de Campbell y Chen se desarrolla.

En 1980, Bean y Birge [3] volver a una instancia de baloncesto, ya que programar el torneo por la Asociación Nacional de Baloncesto (NBA). Como Ball and Webster, primero formular el problema con IP pero de nuevo el problema se vuelve demasiado grande para resolver en tiempo razonable. En su lugar, utilizan una heurística de 2-fases enfoque parecido a los métodos utilizados por Campbell y Chen y Bolas y Webste.

Russell y Leung [20] consideró una liga de béisbol en 1994 con ocho equipos divididos en dos divisiones. El problema es un problema de programación compacto que consta de tres segmentos: en primer lugar se hace un “*Double round robin tournament*” para cada división, luego un “*Double round robin tournament*” de la liga entera y, por último, otro “*Double round robin tournament*” para cada división. Se aplica un enfoque de 2-fases para generar calendarios de marcadores de posición en la Fase 1 y la asignación de los equipos a los marcadores de posición en la Fase 2. Debido a la estructura del torneo, es posible resolver la Fase 2 uti-

lizando enumeración total dentro de un tiempo razonable y la Fase 1 se resuelve mediante un intercambio heurístico. En el documento, señalan que minimizan la distancia de viaje y se correlaciona con la maximización del número de breaks y demuestran el siguiente Teorema.

Para un “Round robin tournament” con un número par de equipos de $n \geq 6$, donde cada equipo puede jugar no más de dos juegos de local o dos partidos de vista consecutivos, el número máximo de interrupciones es estrictamente menor que $n \left(\frac{n}{2} - 1\right)$.

Continuando con la literatura, se hace referencia a otro documento el cual está en función de la minimización de la distancia de viaje para una aplicación práctica. Su autor es Voorhis [17] en el 2001 y una vez más se considera al baloncesto de las universidades, La aplicación es un torneo de liga a doble vuelta con 10 equipos que permite viajes de longitud 2 (llamado oscilaciones de viaje). El problema se formula como un modelo de programación entera, asignando a las ranuras de juegos y se resuelve mediante un algoritmo de profundidad de primera ramificación. El algoritmo comienza con la asignación de los viajes de duración de dos espacios y después el resto de partidos programados. En general lo que se busca es aprovechar los viajes de los equipos para que éstos recorran menos distancias.

2.2. Programación Entera

Un modelo de programación entera es un modelo que contiene restricciones y una función objetivo idénticas a las formuladas en programación lineal. La única diferencia es que una o más de las variables de decisión tienen que tomar un valor entero en la solución final.

Clasificación de los problemas según el tipo de variables

- ***Problemas enteros puros***

Son aquellos en donde todas las variables del problema pueden tomar únicamente valores enteros.

- ***Problemas enteros mixtos***

Son aquellos en los que aparte de haber variables que sólo pueden tomar valores enteros también hay variables continuas.

- ***Problemas enteros binarios***

Cuando las variables sólo pueden tomar valores enteros.(0 ó 1)

La mayoría de los problemas que se presentan en las distintas áreas pueden ser formulados como problemas de programación entera. Podemos argumentar que la optimización combinatoria y programación entera son términos de cierta manera sinónimos debido a que una gran parte de los problemas de optimización combinatoria son problemas de programación entera, que en la mayoría de casos incluye variables binarias.

2.3. Optimización Combinatoria

La Optimización Combinatoria es una rama de la optimización. Su dominio se compone de problemas de optimización donde el conjunto de posibles soluciones es discreto o se puede reducir a un conjunto discreto. A la hora de tratar con problemas de optimización combinatoria, se refiere a la asignación eficiente de recursos limitados para cumplir el objetivo propuesto que consiste en encontrar la mejor solución posible existente o solución óptima, aquella que minimiza una función de coste dada o maximiza una utilidad, sujeto a restricciones de integridad sobre todas o algunas variables. Dentro de un problema de optimización existen muchas soluciones diferentes y por lo tanto también existe un criterio para discriminar y seleccionar entre ellas.

Un problema de optimización combinatoria $P = (S, f)$ puede definirse por:

- Un conjunto de variables $X = \{x_1, \dots, x_n\}$;
- Dominio de las variables D_1, \dots, D_n ;
- Restricciones entre las variables
- Una función objetivo que minimizar, donde $f : D_1 \times \dots \times D_n \rightarrow \mathbb{R}^+$

El conjunto de todas las asignaciones factibles posibles es

$$S = \{s = \{(x_1, v_1), \dots, (x_n, v_n)\} \mid v_i \in D_i, s \text{ satisface todas las restricciones} \}$$

Donde S es denominado espacio de búsqueda, ya que cada elemento del conjunto pue-

de ser visto como una solución candidata. Para resolver un problema de optimización combinatoria uno tiene que encontrar una solución $s^* \in S$ con un valor mínimo de la función objetivo, es decir $f(s^*) \leq f(s) \forall s \in S$. s^* se llama una solución global óptima de (S, f) y el conjunto $s^* \subseteq S$ el conjunto de soluciones óptimas globales.

A continuación se menciona tres ejemplos de los más conocidos, sobre los problemas de optimización combinatoria.

- El Problema del Agente viajero (TSP)
- El Problema de Asignación Cuadrática (QAP)
- EL Problema de planificación de horarios y calendarios

2.4. Scheduling

Cuando se habla de Scheduling, se hace referencia a un proceso de toma de decisiones donde el objetivo es el ubicar recursos limitados a diferentes tareas que se realizan en el transcurso del tiempo. Dichos recursos pueden ser personas, máquinas u otros objetos, mientras que las tareas son expresadas como las operaciones donde estos recursos son empleados. A. Wren[19] citó lo escrito anteriormente como:

“la asignación, sujeta a restricciones, de los recursos otorgados con el propósito de ser establecidos en un espacio de tiempo, de tal manera que satisfaga lo más cercanamente posible el conjunto de objetivos deseados”.

Debido a la variedad de los diversos tipos de problemas que se pueden presentar en una situación real, el Scheduling se lo puede clasificar de cierta manera en tres tipos diferentes, de acuerdo a la caracterización hecha por A.Wren [19]:

- ***Rostering (Lista, Catalogo)***

Ubicación de recursos en determinados periodos siguiendo un patrón.

- ***Sequencing (Secuenciación)***

Encontrar un orden para la ejecución de las actividades.

- ***Timetabling (Fijación de horarios)***

Muestra cuando una tarea o evento en particular debe ser llevado a cabo.

2.4.1. Timetabling

El Timetabling se utiliza diariamente en diferentes áreas para regular diferentes operaciones donde sea necesaria una ubicación de una herramienta en un sitio determinado en una hora específica, como por ejemplo en el transporte (vuelos aéreos), en el estudio (programación de clases o de exámenes), en salud (programación de cirugías), en el campo del entretenimiento (deportes, eventos en festivales), etc.

Capítulo 3

Definición de requerimientos

Para la elaboración de un calendario factible del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol de la serie A, se necesita de cierta información crucial que servirá en gran proporción al momento de realizar cada una de las restricciones que se usarán en el modelo matemático a elaborar.

La obtención de dichos datos es una tarea no muy complicada, ya que la mayoría de información que se necesita es de fácil acceso en páginas específicas de internet como la de la Federación Ecuatoriana de Fútbol(FEF) para la información de ámbito nacional , página de la Federación Internacional de Fútbol Asociado(FIFA) para información referente a las fechas de partidos Oficiales y no Oficiales de la selección ecuatoriana de fútbol, así también páginas como la de (CONMEBOL) Confederación Sudamericana de Fútbol donde se muestra información referente a los Torneos que se realizan entre los equipos de Sudamérica, como la Copa Libertadores y la Copa Sudamericana.

Aquellos datos que no se logren obtener por el medio anterior, se procederá a obtenerlos

por otro como entrevistas a personal capacitado que conozca del tema y pueda brindar información relevante del tema que abarcamos.

3.1. Información de Ámbito Nacional

Se hace referencia a toda la información obtenida de años anteriores sobre el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol de la serie A, trabajando ya sea con datos históricos de los equipos y el campeonato, así como también de algún año en particular según se lo necesite.

3.1.1. Clasificación Histórica de equipos de la Serie A

La Tabla a continuación muestra un histórico de los equipos de Ecuador de la Serie A, que participarán en el campeonato ecuatoriano 2013, basándose desde el inicio del periodo profesional en el año 1957, esta información está actualizada hasta el campeonato nacional de fútbol 2012 culminado recientemente.

Pos	Clubs	Pts.	PJ	PG	PE	PP	GF	GC	GD	Temp	Camp
1º	Barcelona	3.233	1.966	900	533	533	2.898	2.037	861	53	14
2º	El Nacional	3.103	1.923	855	538	530	3.106	2.168	938	49	13
3º	Emelec	2.973	1.866	838	459	569	2.823	2.198	625	53	10
4º	Liga de Quito	2.767	1.783	760	487	536	2.728	2.067	661	51	10
5º	Deportivo Quito	2.470	1.717	663	481	573	2.416	2.192	224	49	5
6º	Deportivo Cuenca	1.894	1.372	507	373	492	1.643	1.658	-15	35	1
8º	Universidad Católica	1.159	898	302	253	343	1.137	1.165	-28	27	0
10º	Macará	1.036	874	263	247	364	1.085	1.307	-222	29	0
22º	Deportivo Quevedo	272	281	67	71	143	255	465	-210	9	0
23º	Manta FC	235	208	60	55	93	199	286	-87	5	0
26º	LDU de Loja	165	128	44	33	51	174	197	-23	3	0
27º	Independiente	162	134	42	36	56	161	188	-27	3	0

Pts=Puntos; PJ=Partidos jugados; PG=Partidos ganados; PE=Partidos empatados; PP=Partidos perdidos; GF=Goles a favor; GC=Goles en contra; GD=Gol diferencia;Temp= Temporadas que han participado en Serie A; Camp= # de veces Campeón.

Figura 3.1: Clasificación histórica-De equipos de la Serie A

Apreciando la figura 3.1 detalladamente se observa que los equipos que se han coronado más veces, como campeones nacionales son Barcelona S.C. y Nacional con 14 y 13 campeonatos cada uno, le siguen el C.S. Emelec y Liga de Quito con 10 campeonatos respectivamente. Es debido a esto que se ha clasificado a estos 4 equipos como los “Equipos Populares” y al resto como los “Equipos menos Populares” del campeonato Ecuatoriano de la serie A.

3.1.2. Clásicos del Fútbol de Ecuador de la serie A

Un Clásico es un encuentro que lleva consigo una historia, es el choque de rivales tradicionales. Los equipos que se enfrentan en un clásico se consideran enemigos naturales desde sus inicios así como a lo largo de la vida del mismo. Se trata de un evento especial muy aparte del torneo que se está disputando, un clásico es una batalla, es una pasión

que va más allá de los colores de camisetas involucradas. En la mayoría de casos para las personas estas rivalidades definen el color favorito y aquel color detestable basándose en la pasión que a estos se le han inculcado desde niños producto de una tradición que pasa de una generación a otra.

A continuación se presentan algunos de los diversos clásicos que se disputan en la actualidad en el país y que se consideraran en este trabajo.

- **Barcelona Vs. Emelec**

Se denomina Clásico del Astillero, y es un partido de fútbol en el que se enfrentan dos de los equipos más grandes, populares y reconocidos del fútbol ecuatoriano.

- **Deportivo Quito Vs. Liga de Quito**

Se denomina Clásico de la Capital, y es un partido de fútbol en el que se enfrentan dos equipos grandes de la Sierra.

- **Liga de Quito Vs. Nacional**

Se denomina Clásico Quiteño, y es un partido de fútbol en el que se enfrentan dos de los equipos quiteños con más títulos nacionales ganados.

- **Liga de Quito Vs. Universidad Católica**

Se denomina Clásico Universitario Ecuatoriano, y es un partido de fútbol entre dos de las Universidades más triunfadoras de la ciudad de Quito y del fútbol Ecuatoriano.

■ Barcelona Vs. Liga de Quito

Se denomina Clásico Nacional, y es un partido de fútbol entre dos de los equipos más taquilleros y más populares del fútbol ecuatoriano.

3.1.3. Información basada en el Campeonato Ecuatoriano de Fútbol del 2012

El Campeonato ecuatoriano de fútbol consta de 12 equipos para la Serie A, lo que significa que todos los equipos se enfrentan en 22 fechas. Hay que considerar que la modalidad del campeonato de fútbol de la serie A es un Double RRTP espejado, ya que los equipos se enfrentan durante las 11 fechas de local o de visita y en las próximas 11 fechas se mantiene un orden descendente de los partidos invirtiendo las localías. Estas 22 fechas son jugadas en las etapas de Apertura y Clausura; propuestas en el Sistema del Campeonato de la Serie A cada año.

Pos	Equipos	Pts	PJ	G	E	P	GF	GC	Dif
1.	Barcelona (C)	83	44	23	14	7	75	34	41
2.	Emelec	74	44	22	8	14	67	49	18
3.	Liga de Quito	69	44	17	18	9	58	42	16
4.	Independiente	68	44	19	11	14	51	45	6
5.	Liga de Loja	65	44	17	14	13	53	47	6
6.	Deportivo Cuenca	63	44	19	9	17	44	49	-5
7.	Manta F.C.	57	44	15	12	16	49	45	4
8.	Deportivo Quito	56	44	14	14	16	48	48	0
9.	El Nacional	52	44	13	13	18	48	62	-14
10.	Macará	50	44	14	8	22	46	62	-16
11.	Técnico Universitario (D)	49	44	12	13	19	45	66	-21
12.	Olmedo (D)	35	44	9	8	26	36	71	-35

Pts = Puntos; **PJ** = Partidos Jugados; **G** = Partidos Ganados; **E** = Partidos Empatados; **P** = Partidos Perdidos; **GF** = Goles Anotados; **GC** = Goles Recibidos; **Dif** = Diferencia de gol; **(D)** = Descendido

Figura 3.2: Tabla Acumulada del Campeonato 2012

Para el campeonato ecuatoriano del año 2012 se hace referencia a la figura 3.2 donde se presenta la tabla acumulada de todo el campeonato y se muestra el resultado final que obtuvo cada equipo, luego de haber jugado las dos primeras etapas. Como podemos observar Barcelona fue el equipo que se coronó campeón y además aseguró su participación directa en los torneos internacionales, estos son la Copa Sudamericana 2013 y también la Copa Libertadores 2013.

En la tercera etapa solo se disputó un repechaje para obtener un cupo en la Copa Libertadores 2013 entre el segundo y tercer lugar de la tabla acumulada; el ganador fue Emelec que clasificó a la Copa Libertadores 2013 y el perdedor fue Liga de Quito que clasificó a la Copa Sudamericana 2013. El último cupo lo obtuvo Liga de Loja para la Copa Sudamericana 2013, que salió del repechaje entre el cuarto y quinto lugar de la tabla acumulada como se muestra en la figura 3.2 respectivamente.

Es necesario también considerar los descensos y ascensos de los equipos que participaron en el campeonato 2012 ya que estos redefinirán el modo de cómo se llevará a cabo el campeonato ecuatoriano para el año 2013. Los equipos que suben y bajan de serie se los muestra en la figura 3.3 que se presenta a continuación.

Ascendidos a la Serie A	Descendidos a la Serie B
Universidad Católica (Campeón de la Serie B)	Técnico Universitario (Penúltimo puesto de la tabla acumulada)
Deportivo Quevedo (Subcampeón de la Serie B)	Olmedo (Último puesto de la tabla acumulada)

Figura 3.3: Equipos ascendidos a la serie A y descendidos a la serie B en el 2012

Basándose en lo anterior podemos definir como **“Equipos Débiles”** a los dos equipos recién ascendidos de la serie B, Universidad Católica y Deportivo Quevedo así también consideramos como equipo débil al antepenúltimo equipo de la Tabla Acumulada que es Macará ya que los dos últimos equipos descendieron a la Serie B.

3.1.4. Información sobre el Campeonato Ecuatoriano de fútbol del 2013

En esta parte lo que se pretende es hacer conocer que equipos participarán en el campeonato Ecuatoriano del año 2013. Esta información brindará una guía de los posibles condicionamientos que se pueden hacer debido a equipos que comparten un mismo estadio o son de una misma ciudad.

Nombre del club	Ciudad	Estadio
Barcelona	Guayaquil	Monumental Banco Pichincha
Deportivo Cuenca	Cuenca	Alejandro Serrano Aguilar
Deportivo Quevedo	Quevedo	7 de Octubre
Deportivo Quito	Quito	Olímpico Atahualpa
El Nacional	Quito	Olímpico Atahualpa
Emelec	Guayaquil	George Capwell
Independiente	Sangolquí	General Rumiñahui
Liga de Loja	Loja	Reina del Cisne
Liga de Quito	Quito	Casa Blanca
Macará	Ambato	Bellavista
Manta F.C.	Manta	Jocay
Universidad Católica	Quito	Olímpico Atahualpa

Figura 3.4: Equipos participantes de campeonato 2013

En la figura 3.4 se muestran todos los equipos que participarán en el campeonato Ecuatoriano del presente año. Así mismo se puede clasificar a los equipos por provincia y esto se muestra en la figura 3.5 que se presenta a continuación.

Provincia	Nº	Equipos
Pichincha 	5	Deportivo Quito, El Nacional, Independiente, Liga de Quito y Universidad Católica
Guayas 	2	Barcelona y Emelec
Azuay 	1	Deportivo Cuenca
Loja 	1	Liga de Loja
Los Ríos 	1	Deportivo Quevedo
Manabí 	1	Manta F.C.
Tungurahua 	1	Macará

Figura 3.5: Equipos por provincia año 2013

3.2. Información de **Ámbito Internacional**

En este capítulo se procederá a mostrar toda la información que necesitaremos en base a la participación de equipos del Ecuador en eventos internacionales así como también de los partidos oficiales y amistosos de la selección de fútbol, que nos servirá para crear el cronograma de juego del Campeonato Nacional.

3.2.1. Fechas de partidos FiFa y No FiFa

En la Tabla 3.1 se muestran las fechas de todos los partidos Oficiales de la selección Ecuatoriana para el año 2013

Fechas	Dia	Encuentros
Fecha 11	22 de Marzo del 2013	Ecuador no juega
Fecha 12	26 de Marzo del 2013	Ecuador Vs Paraguay
Fecha 13	7 de Junio del 2013	Peru Vs Ecuador
Fecha 14	11 de Junio del 2013	Ecuador Vs Argentina
Fecha 15	8 de Septiembre del 2013	Colombia Vs Ecuador
Fecha 16	10 de Septiembre del 2013	Bolivia Vs Ecuador
Fecha 17	11 de Octubre del 2013	Ecuador Vs Uruguay
Fecha 18	15 de Octubre del 2013	Chile Vs Ecuador

Tabla 3.1: Fechas de Partidos FIFA 2013 de la Selección ***Fuente:FIFA***

En la Tabla 3.2 se muestran las fechas de todos los partidos amistosos de la Selección Ecuatoriana para el año 2013.

Fechas	Encuentros
6 de Febrero del 2013	Portugal Vs Ecuador
29 de Mayo del 2013	Alemania Vs Ecuador
14 de Agosto del 2013	Ecuador Vs España

Tabla 3.2: Fechas de Partidos no FIFA 2013 de la Selección ***Fuente:FIFA***

3.2.2. Fechas de partidos de la Copa Bridgestone Libertadores 2013

Antes del sorteo fueron aprobadas las fechas de disputa del torneo. La Copa Bridgestone Libertadores 2013 comenzará en la semana del miércoles 23 de enero y finalizará en la del miércoles 24 de julio.

Las fechas para cada instancia son las siguientes:

- Primera Fase(eliminatorias): Entre el 22 de Enero y el 31 de Enero
- Segunda Fase(Grupos): Entre el 12 de Febrero y el 18 de Abril
- Tercera Fase(Octavos de Final): El 24 de Abril, El 1 de Mayo y el 8 de Mayo
- Cuarta Fase(Cuartos): El 15 de Mayo y el 22 de Mayo
- Receso por la disputa de la Copa FIFa confederaciones 2013
- Quinta Fase(Semifinales): El 3 de julio y 10 de julio
- Sexta Fase(Finales): 17 de julio y 24 de julio

En la Primera Fase de la Copa libertadores, se encuentran 12 equipos de diferentes países que por repechaje pelearán, por uno de los 6 cupos que quedan para poder participar en este Torneo, es decir los que ganen continuarán a la segunda fase.

Para la segunda Fase de la Copa Libertadores se encuentran Barcelona en el Grupo 1 como cabeza de serie por haber sido campeón del Campeonato Ecuatoriano 2012 y Emelec el Vice campeón Ecuatoriano 2012 se encuentra en el Grupo 4.

En la Tabla 3.3 a continuación se muestra las fechas de los partidos de la Segunda Fase que tienen que jugar Barcelona y Emelec si llegarían a pasar. En el caso particular de Emelec se observa que a éste le tocara jugar partido de ida y vuelta con el Deportes Iquique (CHI).

Partido	Fecha	Encuentros
De Visita	Martes 12 de Febrero	Nacional(URU) vs. Barcelona(ECU)
De Local	Miercoles 27 de Febrero	Barcelona(ECU) vs. Boca Jrs.(ARG)
De Visita	Miercoles 6 de Marzo	Toluca(MEX) vs. Barcelona(ECU)
De Local	Miercoles 13 de Marzo	Barcelona(ECU) vs. Toluca(MEX)
De Visita	Miercoles 3 de Abril	Boca Jrs.(ARG) vs. Barcelona(ECU)
De Local	Miercoles 17 de Abril	Barcelona(ECU) vs. Nacional(URU)
De Local	Martes 12 de Febrero	Emelec(ECU) vs. Vélez Sarsfield(ARG)
De Visita	Martes 19 de Febrero	Peñarol(URU) vs. Emelec(ECU)
De Visita	Miercoles 27 de Febrero	Deportes Iquique (CHI) vs. Emelec (ECU)
De Local	Martes 5 de Marzo	Emelec(ECU) vs. Deportes Iquique (CHI)
De Local	Martes 2 de Abril	Emelec(ECU) vs. Peñarol(URU)
De Visita	Martes 9 de Abril	Vélez Sarsfield (ARG) vs. Emelec (ECU)

Tabla 3.3: Fechas de partidos de la Segunda Fase *Fuente: CONMEBOL*

Capítulo 4

Modelamiento del Problema

Encontrar un fixture o calendario factible, es obtener una asignación correcta de los partidos a jugarse en las diversas fechas tratando de cumplir todos los requerimientos que se le imponen.

Para alcanzar el objetivo propuesto es necesario desarrollar un modelo matemático que cumpla con todas las condiciones que se han impuesto en el problema, este capítulo se basa en representar matemáticamente el problema de calendarización del campeonato de fútbol.

A continuación se definen los conjuntos, variables y restricciones que permitieron desarrollar el fixture requerido.

4.1. Conjuntos

Definamos los siguientes conjuntos del modelo:

- **I : Conjunto de todos los equipos del campeonato**

$$I = \{Barcelona, Emelec, Liga Quito, Dep Quito, Nacional, Macará, Manta, Loja, Dep Cuenca, Independiente, U Católica, Dep Quevedo\}$$

- **F : Conjunto de fechas**

$$F = \{f_1, \dots, f_{11}\}$$

- **$epop$: Conjunto de equipos más populares**

$$epop = \{Barcelona, Emelec, Liga Quito, Nacional\}$$

- **$empop$: Conjunto de equipos menos populares**

$$empop = \{Dep Quito, Macara, Manta, Loja, Dep Cuenca, Independiente, U Católica, Dep Quevedo\}$$

- **$edeb$: Conjunto de equipos considerados débiles**

$$edeb = \{Macará, U Católica, Dep Quevedo\}$$

- **$ecos$: Conjunto de equipos de la región Costa**

$$ecos = \{Barcelona, Emelec, Dep Quevedo, Manta\}$$

- **$esier$: Conjunto de equipos de la región Sierra**

$$esier = \{Liga Quito, Dep Quito, Nacional, Macará, Loja, Dep Cuenca, Independiente, U Católica\}$$

- ***eclas* : Conjunto de los partidos considerados clásicos**

$eclas = \{Barcelona.Liga Quito, Emelec.Barcelona, Liga Quito.Dep Quito, Nacional.Liga Quito, Liga Quito.U Católica\}$

- ***ecru* : Conjunto de equipos que son de la misma ciudad o comparten el mismo estadio**

$ecru = \{Barcelona.Emelec, Dep Quito.Nacional, Liga Quito.Independiente\}$

- ***Barcopa* : Conjunto de todas las fechas previo a los partidos en la primera fase de Copa Libertadores de Barcelona**

$Barcopa = \{f_3, f_6, f_9\}$

- ***Emecopa* : Conjunto de todas las fechas previo a los partidos en la primera fase de Copa Libertadores de Emelec**

$Emecopa = \{f_4, f_5, f_{10}\}$

4.2. Variables de Decisión

Las variables consideradas en nuestro modelo son binarias:

$$x_{i,j,f} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega contra el equipo } j \text{ en la fecha } f \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

VARIABLES usadas específicamente para las restricciones referentes a que los equipos no pueden jugar más de dos partidos seguidos de local o visita (breaks).

$$l_{i,f} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega de local en la fecha } f \text{ y } f + 1 \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$v_{i,f} = \begin{cases} 1 & \text{si el equipo } i \text{ juega de visita en la fecha } f \text{ y } f + 1 \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

4.3. Restricciones

Las restricciones que se han aplicado al modelo se las ha agrupado en tres diferentes categorías.

4.3.1. Restricciones del Campeonato ecuatoriano

Las siguientes restricciones se encuentran divididos en 3 subgrupos específicos basados en los requerimientos que el Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional busca en el calendario para la Serie A del fútbol ecuatoriano:

Restricciones básicas referente a partidos de local y Visita

Algo importante que mencionar en esta parte es que se considerará como patrón de juego de localías y visitas a la alternación de las mismas, esto sería que cada equipo en fechas seguidas normalmente deberá jugar alternado esto es, $f = Local/f + 1 = Visita$ ó $f = Visita/f + 1 = Local$.

El patrón de juego $f = Local/f + 1 = Local$ ó $f = Visita/f + 1 = Visita$, en un campeonato se lo considera poco eficiente además de negativo tanto para los clubes como en general para el campeonato, afectando cuestiones deportivas, como cansancio moral

y físico de los equipos al viajar seguidamente para encuentros de visitante, también puede afectar económicamente debido a que incurre mayores gastos , así mismo afecta al campeonato directamente a la hinchada de los equipos debido que ir seguidamente alentar a los equipos al estadio les incurre mayores gastos a ellos y esto afectará al momento de querer llenar los estadios seguidamente. A este patrón se lo llamará **Break** y en este trabajo lo que se pretenderá es minimizar su aparición en el calendario de juego.

A estas restricciones se las puede denominar como el esqueleto del modelo debido a que son las más fundamentales para la elaboración del mismo. Entre lo que se pretende obtener con este grupo de restricciones es, que cada equipo juegue 11 fechas de local y 11 fechas de visita en la primera y segunda etapa del torneo, que todos los equipos jueguen contra todos, que como máximo puedan tener un Break de local o visita (jugar 2 veces seguidas de L o V), y que entre las fechas 1 y 2 así como entre las fechas 10 y 11 no exista break, debido a que al inicio del campeonato jugar seguidamente de local o visita no tienen mayor trascendencia para los equipos porque aún no se ha encendido completamente la emoción del campeonato y en las últimas fechas ningún equipo tendrá la ventaja de jugar 2 veces seguidas de local en un momento decisivo ni la desventaja de poseer 2 partidos seguidos de visita en un momento tan crucial además hay que considerar que el campeonato es espejado; es decir que desde las fechas 12 y 22 se van a jugar en orden ascendente respecto a las primeras 11 fechas, intercambiando las localías.

Conforme a lo establecido anteriormente se podría definir el siguiente conjunto de restricciones:

- Un equipo en cada fecha debe jugar un partido de local o de visita.

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) = 1 \quad \forall i \in I, \forall f \in F \quad (4.1)$$

- Un equipo solo puede jugar exactamente una vez de local o de visita, frente a otro equipo.

$$\sum_{f \in F} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) = 1 \quad \forall i, j \in I, i \neq j \quad (4.2)$$

- Un equipo no puede jugar de local más de 6 partidos.

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} \sum_{f \in F} x_{i,j,f} \leq 6 \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

- Un equipo no puede jugar de local menos de 5 partidos.

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} \sum_{f \in F} x_{i,j,f} \geq 5 \quad \forall i \in I \quad (4.4)$$

- Ningún equipo puede tener más de un break de local.

$$\sum_{\substack{f \in F \\ f < 11}} l_{i,f} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.5)$$

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} (x_{i,j,f} + x_{i,j,(f+1)}) \leq 1 + l_{i,f} \quad \forall i \in I, \forall f \in F, f < 11 \quad (4.6)$$

- Ningún equipo puede tener más de un break de visita.

$$\sum_{\substack{f \in F \\ f < 11}} v_{i,f} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.7)$$

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} (x_{j,i,f} + x_{j,i,(f+1)}) \leq 1 + v_{i,f} \quad \forall i \in I, \forall f \in F, f < 11 \quad (4.8)$$

- Ningún equipo en las dos primeras fechas, puede jugar dos partidos seguidos de local.

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} \sum_{\substack{f \in F \\ f < 3}} x_{i,j,f} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4.9)$$

- Ningún equipo en las dos últimas fechas, puede jugar dos partidos seguidos de local.

$$\sum_{\substack{j \in I \\ j \neq i}} \sum_{\substack{f \in F \\ f > 9}} x_{i,j,f} = 1 \quad \forall i \in I \quad (4.10)$$

Restricciones basadas en la popularidad de los equipos

Este grupo de restricciones están directamente ligados a los equipos y están en función de cuan reconocidos son dentro del campeonato ecuatoriano.

Entre lo que se pretende obtener con este grupo de restricciones es, que los clásicos solo se deben realizar uno por fecha debido a que es el partido que llamará más la atención y con el que se obtendrá mayores ingresos en esa fecha específica. Si se realizara más de uno en una fecha, pasará que en futuras fechas no habrá partidos interesantes y por ende no habrá muchos ingresos en ellas.

De la misma manera también se pretende que los partidos clásicos no se jueguen ni al principio del campeonato donde la gente aún no entra en ambiente, ni al final donde en

ocasiones ya se pierde interés por algún motivo, sino que se juegue en fechas intermedias del campeonato.

- No se puede jugar más de un clásico por cada fecha.

$$\sum_{(i,j) \in \text{eclas}(i,j)} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) \leq 1 \quad \forall f \in F \quad (4.11)$$

- Los partidos clásicos se deben jugar entre la tercera y decima fecha.

$$\sum_{(i,j) \in \text{eclas}(i,j)} \sum_{f < 3 \vee f > 10} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) = 0 \quad (4.12)$$

- El clásico del astillero se debe jugar en la sexta fecha.

$$x_{\text{Barcelona,Emelec},f6} + x_{\text{Emelec,Barcelona},f6} = 1 \quad (4.13)$$

Restricciones basadas en situaciones especiales

Estas restricciones se aplican en casos especiales, puede ser cuando existen fechas festivas es este trabajo se consideran solo las fiestas de Quito. De la misma manera se considera una situación especial, a los pares de equipos denominados cruzados los cuales comparten un mismo estadio o son de la misma ciudad y por eso no pueden jugar al mismo tiempo ambos de local.

- Arreglos por las fiestas de Quito.

$$x_{\text{LigaQuito,UCatolica},f1} = 1 \quad (4.14)$$

$$\sum_{\substack{i \in I \\ i \neq \text{DepQuito}}} x_{i,\text{DepQuito},f1} = 1 \quad (4.15)$$

- Los equipos de una misma región como L.QUITO e independiente (Región sierra) o Barcelona y Emelec (Region Costa) no deben jugar ambos de local al mismo tiempo; se considera adicionalmente que los equipos que comparten el mismo estadio como Dep.QUITO, Nacional y U.Católica tampoco pueden jugar al mismo tiempo , es decir solo dos de ellos jugaran cruzados en este caso será Dep.QUITO y Nacional.

$$\sum_{\substack{h \in I \\ h \neq i \\ h \neq j}} x_{i,h,f} + \sum_{\substack{h \in I \\ h \neq i \\ h \neq j}} x_{j,h,f} \leq 1 \quad \forall (i, j) \in e_{cru}(i, j), \forall f \in F \quad (4.16)$$

4.3.2. Restricciones de equidad deportiva

La finalidad de estas restricciones es para que el campeonato ecuatoriano sea equitativo, tanto para los equipos de la Región Costa y Sierra; debido a que los equipos de la Sierra se recuperan más rápido frente a los de la Costa cuando disputan un partido fuera de su región.

Para los equipos de la región Costa es bajo el nivel de recuperación que tienen en relación con los de la región Sierra, cuando disputan dos partidos seguidos fuera de la región a la que pertenecen; para el caso de equipos de la Costa no es recomendable que jueguen dos partidos seguidos con equipos de la Costa ya que son pocos equipos y se puede dar el caso de que los demás equipos de la Costa jueguen seguido frente a equipos de la sierra. Para los equipos de la Sierra no hay problemas en jugar entre ellos partidos seguidos ya

que hay una gran cantidad de equipos que pertenecen a esta región, pero hay que tener en cuenta que no deben jugar partidos seguidos frente a equipos de la región Costa.

- Un equipo de la región Costa no puede jugar dos partidos seguidos de local, frente a equipos de la Sierra o equipos de la misma región.

$$\sum_{j \in \text{ecos}(j)} (x_{i,j,(f-1)} + 2 * x_{i,j,f} + x_{i,j,(f+1)}) \leq 2 \quad \forall i \in \text{ecos}(i), \forall f \in F, 1 < f < 11 \quad (4.17)$$

$$\sum_{j \in \text{esier}(j)} (x_{i,j,(f-1)} + 2 * x_{i,j,f} + x_{i,j,(f+1)}) \leq 2 \quad \forall i \in \text{ecos}(i), \forall f \in F, 1 < f < 11 \quad (4.18)$$

- Un equipo de la región Costa no puede jugar dos partidos seguidos de visitante, frente a equipos de la Sierra.

$$\sum_{j \in \text{esier}(j)} (x_{j,i,(f-1)} + 2 * x_{j,i,f} + x_{j,i,(f+1)}) \leq 2 \quad \forall i \in \text{ecos}(i), \forall f \in F, 1 < f < 11 \quad (4.19)$$

- Los equipos considerados fuertes no pueden enfrentarse en la primera fecha.

$$\sum_{j \in \text{epop}(j) \wedge j \neq i} \sum_{\substack{f \in F \\ f < 2}} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) = 0 \quad \forall i \in \text{epop}(i) \quad (4.20)$$

- Los equipos considerados fuertes pueden enfrentarse en la última fecha.

$$\sum_{j \in \text{epop}(j) \wedge j \neq i} \sum_{\substack{f \in F \\ f > 10}} (x_{i,j,f} + x_{j,i,f}) \leq 1 \quad \forall i \in \text{epop}(i) \quad (4.21)$$

4.3.3. Restricciones de Copa Libertadores

Enfocándose en los equipos que participarán en la Copa Libertadores, las siguientes restricciones permitirán que estos equipos no se enfrenten a equipos fuertes en el campeonato ecuatoriano, previo a los partidos oficiales por Copa Libertadores.

- Barcelona no deberá jugar con un equipo fuerte.

$$\sum_{j \in \text{empop}(j) \vee j \in \text{edeb}(j)} (x_{\text{Barcelona},j,f} + x_{j,\text{Barcelona},f}) \leq 1 \quad \forall f \in \text{Barcopa}(f) \quad (4.22)$$

- Emelec no deberá jugar con un equipo fuerte.

$$\sum_{j \in \text{empop}(j) \vee j \in \text{edeb}(j)} (x_{\text{Emelec},j,f} + x_{j,\text{Emelec},f}) \leq 1 \quad \forall f \in \text{Emecopa}(f) \quad (4.23)$$

4.3.4. Función Objetivo

La Función objetivo del modelo se enfoca en minimizar el número de break de local y visita que se presente.

$$\text{Min} \quad z = \sum_{i \in I} \sum_{f \in F} (l_{i,f} + v_{i,f}) \quad (4.24)$$

Capítulo 5

Implementación computacional y Análisis de Resultados

El capítulo anterior se enfocó en la elaboración, desarrollo y explicación de un modelo matemático que permita encontrar un fixture de juegos factible que cumpla con los requerimientos impuestos por las diversas entidades que participan en el campeonato ecuatoriano de fútbol.

Siguiendo con esto, en el presente capítulo el enfoque está dado en la utilización de herramientas computacionales que nos ayuden a resolver el modelo matemático que se explicó y planteó en el capítulo anterior para la elaboración del fixture, de la misma manera se pretenderá analizar los resultados obtenidos y comparar el calendario que nosotros hemos desarrollado para este año, con el calendario oficial del campeonato 2013.

Implementación computacional

Para el desarrollo y elaboración de nuestro modelo matemático, se usó un equipo computacional con procesador Intel(R)Core(TM)i3-2100, CPU 3.10GHz, 4GB de RAM y con sistema operativo Windows 7.

Como herramienta computacional principal para el desarrollo de este trabajo se usó el software o programa GAMS¹ (Sistema general de modelaje Algebraico), el cual es un sistema de modelización de alto nivel para la optimización matemática. Permite modelar y resolver problemas de optimización sean estos lineales, no lineales, o enteros mixtos. De la misma manera GAMS está diseñado para aplicaciones complejas, modelado a gran escala y permite construir grandes modelos que pueden adaptarse a nuevas situaciones. El sistema está disponible para su uso en plataformas informáticas diferentes. Los modelos son portables de una plataforma a otra. En el caso de nuestro trabajo se usará como plataforma de resultados la plataforma de Bloc de notas que se identifica con la extensión “doc.Txt ”, en donde mostrará el calendario factible obtenido por el programa.

Ahora, sobre el entorno de GAMS con el usuario, este presenta un lenguaje de modelización que nos permite escribir en un editor la formulación matemática del problema a resolver para luego poder aplicarle una serie de solvers (diversos algoritmos de resolución) en este trabajo se usará como solver o programa de resolución el CPLEX.

¹GAMS Rev 240 Copyright (C) 1987-2012 GAMS Development. All rights reserved

En la figura 7.3 que está a continuación, se presenta algunas restricciones modeladas en GAMS como muestra de su implementación en la elaboración del fixture.

```

EQUATION
fobj..                               z=e=sum((i,f),l(i,f))+sum((i,f),v(i,f));
*-----
*Restricciones Campeonato Ecuatoriano(Basicas)
*-----
r01(i,f)..                           sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,f)+x(j,i,f))=e=1;
r02(i,j)$(not sameas(i,j))..         sum(f,x(i,j,f)+x(j,i,f))=e=1;
r031(i)..                             sum((j,f)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f))=l=6;
r032(i)..                             sum((j,f)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f))=g=5;
r051(i)..                             sum(f$(ord(f)<11),l(i,f))=l=1;
r053(i,f)$(ord(f)<11)..               sum((j)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f)+x(i,j,f+1))=l=1+l(i,f);
r052(i)..                             sum(f$(ord(f)<11),v(i,f))=l=1;
r054(i,f)$(ord(f)<11)..               sum((j)$(not sameas(i,j)),x(j,i,f)+x(j,i,f+1))=l=1+v(i,f);
r061(i)..                             sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,'f1')+x(i,j,'f2'))=e=1;
r063(i)..                             sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,'f10')+x(i,j,'f11'))=e=1;

```

Figura 5.1: Restricciones Básicas

Por último, en la figura 7.8 se muestra una pequeña parte de los resultados que se obtienen con GAMS una vez que se encuentra ya exportado al “doc.Txt”.

```

=====
PROYECTO DE CALENDARIO PARA EL CAMPEONATO ECUATORIANO DE FUTBOL
=====
PRIMERA DIVISION DE LA SERIE A
=====
PROGRAMACION DE CADA FECHA
PROGRAMACION DE local

EN LA FECHA f1      SE ENFRENTAN:
Emelec              vs.  Dep_Cuenca
Liga_Quito          vs.  U_Catolica
Nacional            vs.  Manta
Macara              vs.  Barcelona
Loja                vs.  Dep_Quito
Dep_Quevedo        vs.  Independiente

EN LA FECHA f2      SE ENFRENTAN:
Barcelona           vs.  Dep_Quevedo
Dep_Quito           vs.  Nacional
Manta               vs.  Macara
Dep_Cuenca          vs.  Loja
Independiente       vs.  Liga_Quito
U_Catolica          vs.  Emelec

```

Figura 5.2: Parte de la solución que se presenta en el doc.txt

Referente a su elaboración, una gran complicación que tuvimos al momento de elaborar el modelo e implementarlo en GAMS, es que en su ejecución para obtener un resultado factible este no llegaba a ninguno y en muchas ocasiones nos daba infactibilidad como resultado. Nos dimos cuenta que se debía a la cantidad de restricciones que teníamos ya que ciertas restricciones se contradecían y no era posible encontrar una solución factible, en otras existía algunas restricciones redundantes que dificultaban el trabajo de GAMS, por tal motivo al modelo se lo relajó a tal forma de dejar las restricciones más importantes y de mayor relevancia que hicieron posible obtener el calendario factible de juego.

Entre las restricciones del modelo donde más problemas se presentó se encuentran:

- Conseguir que los equipos de la Costa no jueguen partidos seguidos frente a los de la Sierra tanto de local como de visita.
- Los equipos que compartan la misma ciudad o el mismo estadio, no jueguen ambos de locales o de visita.
- Fijar a los equipos que participarán en la Copa Libertadores, rivales considerados débiles.

Análisis de Resultados

Como características importantes del modelo podemos decir que este posee 1.763 variables y 749 restricciones. Para la función objetivo se ha tomado en cuenta minimizar el número de breaks, respetando estrictamente los requerimientos de todas las entidades participantes del campeonato.

Una vez que se realizó la implementación computacional del modelo matemático, se requirió alrededor de 2 horas para que GAMS pueda dar un resultado favorable. El mínimo número de breaks que obtuvimos en el calendario que propusimos fue de 10 breaks para las primeras 11 fechas del campeonato y se lo comparó con los calendarios oficiales del campeonato ecuatoriano de este año y de años anteriores, se notará que este es el mínimo número de breaks que se presenta en un calendario oficial.

PRIMERA ETAPA																	
F1	DOM	27/01/2013	F2	MIER	30/01/2013	F3	DOM	10/02/2013	F4	SAB	16/02/2013	F5	DOM	24/02/2013	F6	DOM	03/03/2013
Eme vs. Macara			D.QUITO vs. D.QUEV			Nac vs. LDUQ			D.QUITO vs. NAC			D.QUITO vs. BARC			Nac vs. D.QUEV		
LDUQ vs. UCATOL			INDEP vs. LOJA			INDEP vs. D.QUITO			LDUQ vs. EME			INDEP vs. MACARA			LDUQ vs. MANTA		
Nac vs. D.CUENCA			UCATOL vs. EME			EME vs. D.CUENCA			UCATOL vs. MANTA			EME vs. NAC			UCATOL vs. INDEP		
Manta vs. Indep			Barc vs. Manta			D.QUEV vs. UCATOL			Barc vs. Indep			D.QUEV vs. LDUQ			EME vs. BARC		
D.QUEV vs. Barc			Macara vs. Nac			Loja vs. Barc			Macara vs. Loja			Loja vs. UCATOL			Macara vs. D.QUITO		
Loja vs. D.QUITO			D.CUENCA vs. LDUQ			Manta vs. Macara			D.CUENCA vs. D.QUEV			Manta vs. D.CUENCA			D.CUENCA vs. Loja		
F7	DOM	10/03/2013	F8	MIER	13/03/2013	F9	DOM	31/03/2013	F10	SAB	06/04/2013	F11	DOM	14/04/2013	F12	DOM	21/04/2013
D.QUITO vs. UCATOL			Nac vs. Loja			D.QUITO vs. LDUQ			Nac vs. UCATOL			D.QUITO vs. EME			Eme vs. D.QUITO		
Indep vs. D.CUENCA			LDUQ vs. Indep			Indep vs. Nac			LDUQ vs. Barc			Indep vs. D.QUEV			D.QUEV vs. Indep		
Barc vs. Macara			UCATOL vs. Barc			Barc vs. D.CUENCA			Eme vs. Indep			UCATOL vs. D.CUENCA			D.CUENCA vs. UCATOL		
D.QUEV vs. Eme			Eme vs. Manta			Loja vs. Eme			D.QUEV vs. Loja			Barc vs. Nac			Nac vs. Barc		
Loja vs. LDUQ			MACARA vs. D.QUEV			MANTA vs. D.QUEV			MANTA vs. D.QUITO			Loja vs. Manta			Manta vs. Loja		
Manta vs. Nac			D.CUENCA vs. D.QUITO			MACARA vs. UCATOL			D.CUENCA vs. Macara			Macara vs. LDUQ			LDUQ vs. Macara		
F13	DOM	28/04/2013	F14	DOM	05/05/2013	F15	MIER	08/05/2013	F16	DOM	12/05/2013	F17	DOM	19/05/2013	F18	DOM	26/05/2013
UCATOL vs. Nac			LDUQ vs. D.QUITO			Loja vs. Nac			UCATOL vs. D.QUITO			D.QUEV vs. Nac			Barc vs. D.QUITO		
Barc vs. LDUQ			Nac vs. Indep			Indep vs. LDUQ			D.CUENCA vs. Indep			Manta vs. LDUQ			Macara vs. Indep		
Indep vs. Eme			D.CUENCA vs. Barc			Barc vs. UCATOL			Macara vs. Barc			Indep vs. UCATOL			Nac vs. Eme		
Loja vs. D.QUEV			Eme vs. Loja			Manta vs. Eme			Eme vs. D.QUEV			Barc vs. Eme			LDUQ vs. D.QUEV		
D.QUITO vs. Manta			D.QUEV vs. Manta			D.QUITO vs. Macara			LDUQ vs. Loja			D.QUITO vs. Macara			UCATOL vs. Loja		
Macara vs. D.CUENCA			UCATOL vs. Macara			D.QUITO vs. D.CUENCA			Nac vs. Manta			Loja vs. D.CUENCA			D.CUENCA vs. Manta		
F19	DOM	16/06/2013	F20	DOM	23/06/2013	F21	MIER	26/06/2013	F22	DOM	30/06/2013						
Nac vs. D.QUITO			LDUQ vs. Nac			D.QUEV vs. D.QUITO			Macara vs. Eme								
Eme vs. LDUQ			D.QUITO vs. Indep			Loja vs. Indep			UCATOL vs. LDUQ								
Manta vs. UCATOL			D.CUENCA vs. Eme			Eme vs. UCATOL			D.CUENCA vs. Nac								
Indep vs. Barc			UCATOL vs. D.QUEV			Manta vs. Barc			Indep vs. Manta								
Loja vs. Macara			Barc vs. Loja			Nac vs. Macara			Barc vs. D.QUEV								
D.QUEV vs. D.CUENCA			Macara vs. Manta			LDUQ vs. D.CUENCA			D.QUITO vs. Loja								

Figura 5.3: Calendario Oficial del Campeonato Ecuatoriano 2013

Como constancia de lo que hemos expresado en la parte anterior, en la figura 5.3 presentamos la primera etapa del Calendario Oficial del Campeonato Ecuatoriano 2013, señalando los breaks de local (color rojo) y los breaks de visita (color verde), que existen en las primeras 11 fechas, ya que obviamente conocemos que el campeonato es espejado y las 11 fechas siguientes tendrán los mismos breaks pero cambiando las localías y visitas.

PRIMERA ETAPA																	
F1	DOM	27/01/2013	F2	MIE	30/01/2013	F3	DOM	10/02/2013	F4	SAB	16/02/2013	F5	DOM	24/02/2013	F6	DOM	03/03/2013
Eme vs. D.Cuenca			Barc vs. D.Quev			Eme vs. Inde			Barc vs. Loja			Eme vs. D.Quito			Barc vs. Eme		
LDUQ vs. U.catol			D.Quito vs. Nac			LDUQ vs. D.Quito			D.Quito vs. U.catol			LDUQ vs. D.Quev			D.Quito vs. U.catol		
Nac vs. Manta			Manta vs. Macara			Nac vs. Barc			Macara vs. LDUQ			Nac vs. Macara			Macara vs. U.catol		
Macara vs. Barc			D.Cuenca vs. Loja			Macara vs. D.Quev			Manta vs. Eme			Loja vs. Inde			Manta vs. LDUQ		
Loja vs. D.Quito			Inde vs. LDUQ			D.Cuenca vs. Manta			Inde vs. D.Cuenca			D.Cuenca vs. Manta			Inde vs. Nac		
D.Quev vs. Inde			U.catol vs. Eme			D.Cuenca vs. U.catol			D.Quev vs. Nac			U.catol vs. Barc			D.Quev vs. Loja		
F7	DOM	10/03/2013	F8	MIE	13/03/2013	F9	DOM	31/03/2013	F10	SAB	06/04/2013	F11	DOM	14/04/2013	F12	DOM	21/04/2013
Eme vs. Macara			Barc vs. D.Cuenca			Eme vs. Nac			Barc vs. Manta			Eme vs. Loja			Loja vs. Eme		
LDUQ vs. Barc			Nac vs. LDUQ			D.Quito vs. Barc			LDUQ vs. Eme			D.Quito vs. Macara			Macara vs. D.Quito		
D.Quito vs. Manta			Macara vs. Loja			D.Quito vs. LDUQ			Nac vs. D.Cuenca			Manta vs. D.Quev			D.Quev vs. Manta		
Loja vs. Nac			Manta vs. U.catol			D.Cuenca vs. Macara			Macara vs. Inde			D.Cuenca vs. LDUQ			LDUQ vs. D.Cuenca		
D.Cuenca vs. D.Quev			Inde vs. D.Quito			Inde vs. Manta			Loja vs. U.catol			Inde vs. Barc			Barc vs. Inde		
U.catol vs. Inde			D.Quev vs. U.catol			U.catol vs. D.Quev			D.Quev vs. D.Quito			U.catol vs. Nac			Nac vs. U.catol		
F13	DOM	28/04/2013	F14	DOM	*****	F15	MIE	08/05/2013	F16	DOM	12/05/2013	F17	DOM	19/05/2013	F18	DOM	26/05/2013
Manta vs. Barc			Nac vs. Eme			D.Cuenca vs. Barc			Macara vs. Eme			Eme vs. Barc			D.Quito vs. Eme		
Eme vs. LDUQ			Barc vs. D.Quito			LDUQ vs. Nac			Barc vs. LDUQ			D.Cuenca vs. D.Quito			D.Quev vs. LDUQ		
D.Cuenca vs. Nac			LDUQ vs. Loja			Loja vs. Macara			Manta vs. D.Quito			U.catol vs. Macara			Macara vs. Nac		
Inde vs. Macara			Macara vs. D.Cuenca			U.catol vs. Manta			Nac vs. Loja			LDUQ vs. Manta			Inde vs. Loja		
U.catol vs. Loja			Manta vs. Inde			D.Quito vs. Inde			D.Quev vs. D.Cuenca			Nac vs. Inde			Manta vs. D.Cuenca		
D.Quito vs. D.Quev			D.Quev vs. U.catol			Eme vs. D.Quev			Inde vs. U.catol			Loja vs. D.Quev			Barc vs. U.catol		
F19	DOM	16/06/2013	F20	DOM	*****	F21	MIE	26/06/2013	F22	DOM	30/06/2013						
Loja vs. Barc			Inde vs. Eme			D.Quev vs. Barc			D.Cuenca vs. Eme								
U.catol vs. D.Quito			D.Quito vs. LDUQ			Nac vs. D.Quito			U.catol vs. LDUQ								
LDUQ vs. Macara			Barc vs. Nac			Macara vs. Manta			Manta vs. Nac								
Eme vs. Manta			D.Quev vs. Macara			Loja vs. D.Cuenca			Barc vs. Macara								
D.Cuenca vs. Inde			Manta vs. Loja			LDUQ vs. Inde			D.Quito vs. Loja								
Nac vs. D.Quev			U.catol vs. D.Cuenca			Eme vs. U.catol			Inde vs. D.Quev								

Figura 5.4: Calendario obtenido con el Modelo - tiempo 8000 segundos

Mientras que en la figura 5.4 se muestra la primera etapa el Calendario ecuatoriano de fútbol 2013, creado con nuestro modelo matemático, de la misma manera señalando los breaks de local (color rojo) y los breaks de visita (color verde) que existen solo en las primeras 11 fechas debido a que es espejado.

Uno de los principales aspectos que se debe destacar en los resultados de nuestro proyecto es que se cumplen los requerimientos impuestos por el Comité Ejecutivo de Fútbol Profesional, así como los restricciones de equidad deportiva, pero hay que considerar

que Emelec tiene una ventaja sobre Barcelona, ya que previo a las fechas en que se disputa la Copa Bridgestone Libertadores no debe jugar en la Región Sierra lo que significa que va a estar mejor preparado físicamente que Barcelona; mientras que en el calendario oficial se muestra un equilibrio entre Barcelona y Emelec, en lo que se refiere a los requerimientos de la Copa Libertadores. Podemos notar también que debido a la dificultad de encontrar un calendario factible, para la primera y segunda etapa del campeonato ecuatoriano de fútbol se usará el mismo calendario, haciendo un pequeño cambio entre la posición de dos equipos que deban jugar cruzados, por lo general esto se lo realiza con Barcelona y Emelec.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Para la FEF (Federación Ecuatoriana de Fútbol), la elaboración de calendarios es una tarea muy compleja y es por eso que destinan estas labores a las asociaciones y a los clubes, esperando así que estos presenten un proyecto de calendario que sea más equitativo para los clubes y que a su vez haga al campeonato ecuatoriano más atractivo, ya que la estabilidad económica de los clubes se debe a los contratos con las televisoras y a la multitud de aficionados que llenan los estadios en cada fecha. Para poner un ejemplo; en el año 2012 un total de 843.946 aficionados asistieron a los 132 partidos de la primera etapa del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol, dejando una taquilla de USD 6'072.695.

Muchas asociaciones internacionales utilizan herramientas computacionales para la elaboración de los proyectos de calendarios apegados a la Investigación de Operaciones y Programación Matemática para sus correspondientes Ligas. En este trabajo nos enfocamos en la Programación Entera ya que en la actualidad es aplicada en algunas ligas suramericanas como [16] Urrutia, S., C. Ribeiro para la liga brasileña, [18] Wolf Rodrigo, [6] Durán G para la liga chilena. Para el caso de la liga ecuatoriana, el martes 15

de enero del 2013 se aprobó un proyecto de calendario presentado por la AFNA elaborado con apoyo de la Escuela Politécnica Nacional, quienes utilizan casi los mismos requerimientos que planteamos en este trabajo. La diferencia es que para este trabajo se utilizó un “método exacto”, mientras que el calendario presentado por la AFNA, fue realizado por medio de una “heurística”.

La complejidad de la confección del calendario ecuatoriano para el año 2013, no solo está basado en cumplir los requerimientos y las condiciones que impone la FEF, sino que la dificultad va más allá y esto se puede observar al momento de querer ayudar a los equipos que clasificaron a los torneos internacionales para que puedan avanzar y llegar a la final de dichos torneos, y este problema se debe a que el campeonato ecuatoriano está evolucionando de manera notable y es por eso que aparece en el puesto trece del ranking mundial de las mejores ligas de fútbol del mundo según el ranking de la Federación de Historia y Estadísticas del Fútbol (IFFHS) y se sitúa en el quinto puesto entre las ligas suramericanas. Esto significa que no se puede clasificar a un equipo como fuerte o débil tan solo por su información histórica o por estadísticas, porque esto no es muy confiable ya que depende más de los jugadores y de la preparación de cada equipo.

Dentro de las recomendaciones tenemos:

La elaboración del campeonato ecuatoriano de fútbol, tiene una gran relevancia debido a que esto define la competitividad del campeonato y se da anualmente es por eso que se debe continuar con la programación matemáticas y el uso de herramientas computacionales en la confección de calendarios para todo el sistema de fútbol ecuatoriano, el cual está estructurado por las siguientes divisiones:

- Serie A

- Serie B

- Segunda Categoría

Una variante que se pueda utilizar para la elaboración de los futuros proyectos de calendarios deportivos, es el uso de Metaheurísticas o heurísticas para obtener soluciones factibles aproximadas al óptimo, en menos tiempo de ejecución. El uso de las Heurísticas sería apropiado para la confección del calendario de la segunda categoría ya que tiene muchas características diferentes a la Serie A y la Serie B, entre estas es que se juega por grupos provinciales esto significa que no existen los requerimientos de la equidad deportiva, ni los requerimientos de que los equipos de la misma ciudad jueguen cruzados, debido a que no todos los equipos tienen sus propios estadios; en este caso lo primordial sería la programación de los horarios de juego antes del calendario, como vemos tenemos dos problemas de scheduling que podríamos abordar con las heurísticas.

Capítulo 7

Anexos

Modelo Matematico Completo aplicado en Gams

A continuación presentaremos las diferentes partes que componen nuestro Modelo matemático una vez ingresado en GAMS.

```
sets
i          equipos /Barcelona,Emelec,Liga_Quito,Nacional,Dep_Quito,Macara,
              Manta,Loja,Dep_Cuenca,Independiente,U_Catolica,Dep_Quevedo/
f          fechas /f1*f11/
alias(i,j):alias(i,h)
sets
epop(i)    equipos populares/Barcelona,Emelec,Liga_Quito,Nacional/
empop(i)   equipos menos populares/Dep_Quito,Macara,Manta,Loja,Dep_Cuenca,
              Independiente,U_Catolica,Dep_Quevedo/
eclas(i,j) partidos clásicos/Barcelona.Liga_Quito,Emelec.Barcelona,
              Liga_Quito.Dep_Quito,Nacional.Liga_Quito/
egua(i)    equipos del guayas que conforman el ASOGUAYAS/Barcelona,Emelec/
ecos(i)    equipos de la costa/Barcelona,Emelec,Dep_Quevedo,Manta/
esier(i)   equipos de la sierra/Liga_Quito,Dep_Quito,Nacional,Macara,Loja,
              Dep_Cuenca,Independiente,U_Catolica/
ecru(i,j)  equipos que deben jugar cruzados por la ciudad o el estadio/Barcelona.Emelec,
              Nacional.Dep_Quito,Liga_Quito.Independiente/
epichi(i)  equipos de pichincha que conforman la AFNA/Liga_Quito,Dep_Quito,Nacional,
              Independiente,U_Catolica/

edeb(i)    equipos débiles/U_Catolica,Dep_Quevedo,Macara/

Barcopa(f) /f3,f6,f9/
Emecopa(f) /f4,f5,f10/
```

Figura 7.1: Conjuntos del Modelo

```

VARIABLES
z                número mínimo de breaks
z1,z2
x(i,j,f)        1 si el equipo i juega contra el equipo j en la fecha f
l(i,f)          1 si el equipo i tiene un break de local (es decir juega en la fecha f y f+1 de local)
v(i,f)          1 si el equipo i tiene un break de visita (es decir juega en la fecha f y f+1 de visita)
BINARY VARIABLES x,l,v;

```

Figura 7.2: Variables Binarias del Modelo

Los índices, conjuntos y variables, que se usaron en el Modelo Matemático se aprecian en las figuras 7.1 y 7.2. Luego en las figuras 7.3, 7.4, 7.5, y 7.6 se muestran los requerimientos y condiciones que se usaron en la elaboración del fixture, cabe recalcar que todo esto es la implementación en GAMS del Modelo.

```

EQUATION
fobj..          z=e=sum((i,f),l(i,f))+sum((i,f),v(i,f));
*-----
*Restricciones Campeonato Ecuatoriano(Basicas)
*-----
r01(i,f)..     sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,f)+x(j,i,f))=e=1;
r02(i,j)$(not sameas(i,j)).. sum(f,x(i,j,f)+x(j,i,f))=e=1;
r031(i)..     sum((j,f)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f))=l=6;
r032(i)..     sum((j,f)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f))=g=5;
r051(i)..     sum(f$(ord(f)<11),l(i,f))=l=1;
r053(i,f)$(ord(f)<11).. sum((j)$(not sameas(i,j)),x(i,j,f)+x(i,j,f+1))=l=1+l(i,f);
r052(i)..     sum(f$(ord(f)<11),v(i,f))=l=1;
r054(i,f)$(ord(f)<11).. sum((j)$(not sameas(i,j)),x(j,i,f)+x(j,i,f+1))=l=1+v(i,f);
r061(i)..     sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,'f1')+x(i,j,'f2'))=e=1;
r063(i)..     sum(j$(not sameas(i,j)),x(i,j,'f10')+x(i,j,'f11'))=e=1;

```

Figura 7.3: Restricciones Basicas

```

*-----
*Restricciones Campeonato Ecuatoriano (Basadas en Popularidad y casos especiales)
*-----
r111 (f) ..          sum ( (i,j) $(eclas (i,j)), x(i,j,f)+x(j,i,f))=1=1;

r112..              sum [ (i,j,f) $(eclas (i,j) and(ord (f)<4 or
ord (f)>10)), x(i,j,f)+x(j,i,f) ]=e=0;

r113..              x ('Barcelona', 'Emelec', 'f6')+
x ('Emelec', 'Barcelona', 'f6')=e=1;

r1141..             x ('Liga_Quito', 'U_Catolica', 'f1')=e=1;

r1142..             sum (i$(ord(i) ne 5), x(i, 'Dep_Quito', 'f1'))=e=1;

r13 (i,j,f) $ecru (i,j) .. sum (h$(not sameas (h,i) and not sameas (h,j)), x(i,h,f)) +
sum (h$(not sameas (h,i) and not sameas (h,j)), x(j,h,f))=1=1;

```

Figura 7.4: Restricciones de popularidad y casos especiales

```

*-----
*Restricciones Equidad Deportiva
*-----
r1113 (i,f) $(ecos (i) and ord (f)<11 and ord (f)>1) ..          sum ((j) $(ecos (j)), x(i,j,f-1)+2*x(i,j,f)+x(i,j,f+1))=1=2;
r1116 (i,f) $(ecos (i) and ord (f)<11 and ord (f)>1) ..          sum ((j) $(esier (j)), x(i,j,f-1)+2*x(i,j,f)+x(i,j,f+1))=1=2;
r1115 (i,f) $(ecos (i) and ord (f)<11 and ord (f)>1) ..          sum ((j) $(esier (j)), x(j,i,f-1)+2*x(j,i,f)+x(j,i,f+1))=1=2;
r24 (i) $(epop (i)) ..          sum ((j,f) $( (ord (f)<2) and epop (j) and not sameas (i,j)), x(i,j,f)+x(j,i,f))=E=0;
r25 (i) $(epop (i)) ..          sum ((j,f) $( (ord (f)>10) and epop (j) and not sameas (i,j)), x(i,j,f)+x(j,i,f))=1=1;

```

Figura 7.5: Restricciones de la Equidad deportiva

```

*-----
*Restricciones Copa Libertadores
*-----
r31 (f) $Barcopa (f) ..          sum (j$(empop (j) or edeb (j)), x ('Barcelona', j, f)
+x (j, 'Barcelona', f))=1=1;

r32 (f) $Emecopa (f) ..          sum (j$(empop (j) or edeb (j)), x ('Emelec', j, f)
+x (j, 'Emelec', f))=1=1;

```

Figura 7.6: Restricciones sobre Copa Libertadores

Luego de las restricciones, tenemos la ejecución del modelo, esto se muestra en la figura 7.7, el objetivo de esto es minimizar el número de break del fixture de juego, ya que así se definió en la función objetivo. Con lo que se pretende encontrar una solución factible que cumpla con las condiciones impuestas en el modelo. De la misma manera en la misma figura 7.7 se muestra la programación en GAMS para la exportación de los resultados en un “doc.Txt como se había mencionado antes que se podía hacer y se lo muestra a continuación.

```

MODEL
p1/all/      ;

p1.reslim = 8000 ;

SOLVE
p1 using mip min z

DISPLAY
x.l,l.l,v.l,z1.l,z2.l

FILE RES /f:calendario3_2.TXT/;

PUT RES;
PUT "PROYECTO DE CALENDARIO PARA EL CAMPEONATO ECUATORIANO DE FUTBOL"/;
PUT "====="/
PUT "          PRIMERA DIVISION DE LA SERIE A          "/;
PUT "====="/;
PUT "PROGRAMACION DE CADA FECHA"//;

PUT "PROGRAMACION DE local"//;

LOOP(f,
PUT /"EN LA FECHA ",f.TL:5:0 " SE ENFRENTAN:  "/;
LOOP(i,
  LOOP(j,
    PUT$(x.L(i,j,f) NE 0) " " , i.TL:20:0, " vs. " , j.TL:20:0/;
  );
);
);
);

```

Figura 7.7: Ejecución del Modelo y su Exportación a doc.txt

Por último, en la figura 7.8 se muestra una pequeña parte de los resultados que se obtienen con el programa GAMS una vez que se encuentra ya exportado al “doc.Txt ”.

```
PROYECTO DE CALENDARIO PARA EL CAMPEONATO ECUATORIANO DE FUTBOL
=====
PRIMERA DIVISION DE LA SERIE A
=====

PROGRAMACION DE CADA FECHA
PROGRAMACION DE Toca1

EN LA FECHA f1 SE ENFRENTAN:
Emelec vs. Dep_Cuenca
Liga_Quito vs. U_Catolica
Nacional vs. Manta
Macara vs. Barcelona
Loja vs. Dep_Quito
Dep_Quevedo vs. Independiente

EN LA FECHA f2 SE ENFRENTAN:
Barcelona vs. Dep_Quevedo
Dep_Quito vs. Nacional
Manta vs. Macara
Dep_Cuenca vs. Loja
Independiente vs. Liga_Quito
U_Catolica vs. Emelec
```

Figura 7.8: Parte de la solución que se presenta en el doc.txt

Adjuntamos adicionalmente el calendario del Campeonato Ecuatoriano de Fútbol 2013, proporcionado por la Federación Ecuatoriana de Fútbol, cuya información fue de vital importancia para el desarrollo de este proyecto.

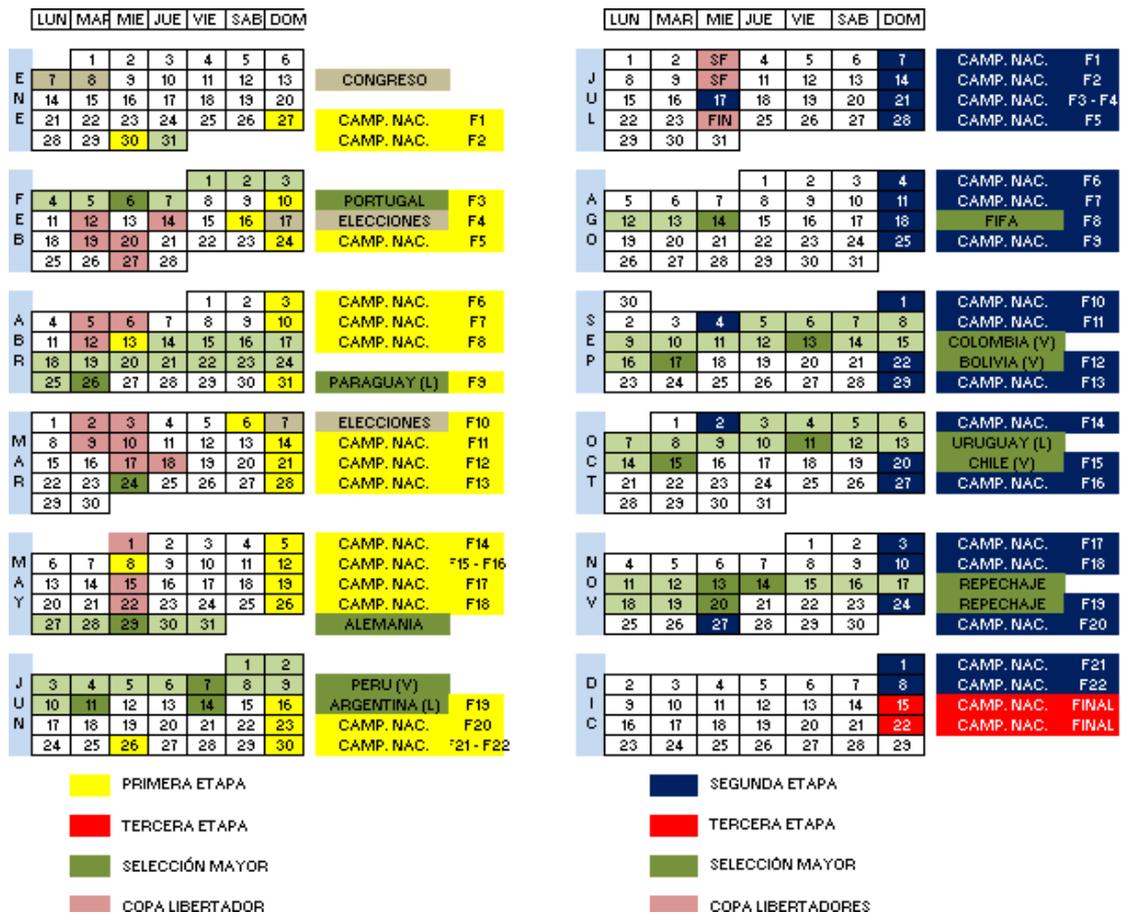


Figura 7.9: Cronograma del Campeonato Ecuatoriano 2013

Bibliografía

- [1] B.C. Ball and D.B. Webster.: *Scheduling the professional soccer leagues of Austria and Germany.* , AIIE Transactions, 9:161-169 (1977)
- [2] Bartsch T., A. Drexl, S. Kröger.: *Optimal scheduling for even-numbered team athletic conferences.* , Computers and Operations Research, Vol.33:1907-1937 (2006)
- [3] J.C. Bean and J.R. Birge.: *Reducing travelling costs and player fatigue in the national basketball association.* , Interfaces, 10(3):98-102 (1980)
- [4] R.T. Campbell and D.S. Chen.: *A minimum distance basketball scheduling problem.*,In R.E. Machol, S.P. Ladany, and D.G. Morrison, editors, Management Science in Sports, volume 4 of Studies in the Management Sciences, North-Holland Publishing Company, pages 15-26. (1976)
- [5] D. de Werra.: *Some models of graphs for scheduling sports competitions.* , Discrete Applied Mathematics, 21:47-65 (1988)
- [6] Durán G., M. Guajardo, J. Miranda, D. Saure, S. Souyris, A. Weintraub, R. Wolf.: *Scheduling the Chilean soccer league by integer programming.*, INTERFACES, Vol.37:539-552 (2007)

-
- [7] K. Easton, G. Nemhauser, and M. Trick.: *The traveling tournament problem: Description and benchmarks.*, In T. Walsh, editor, *Principles and Practice of Constraint Programming - CP 2001*, volume 2239 of *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin / Heidelberg, pages 580-585. (2001)
- [8] Goossens D., F. Spieksma.: *Scheduling the Belgian Soccer League.*, *INTERFACES*, Vol.39: 358-367, (2009)
- [9] Morales Jorge.: *Desarrollo de una aplicación para calendarizar el Campeonato Ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando programación en Entera*, (2012)
- [10] Nemhauser, G., M. Trick.: *Scheduling a major college basketball conference.*, *Oper. Res.*, 46(1): 1-8, (1998)
- [11] Rasmussen, R., M. Trick.: *Round robin scheduling a survey*, *Journal of Operations Research*, Vol.188: 617-636 , (2007)
- [12] Rasmussen RV.: *Scheduling a triple round robin tournament for the best Danish soccer league.*, *European Journal of Op. Research* Vol.185: 795-810, (2008)
- [13] Schreuder J.: *Combinatorial aspects of construction of competition Dutch Professional Football Leagues.* ,*Discrete Applied Mathematics* Vol.35: 301-312, (1992)
- [14] M. Trick.: *A schedule-then-break approach to sports timetabling.* ,In E. Burke and W. Erben, editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling III*, volume

-
- 2079 of Lecture Notes in Computer Science, Springer Berlin / Heidelberg, pages 242-252, (2001)
- [15] Truls, F., E. Nilssen. : *Scheduling the topmost football leagues of Norway.* ,En 23rd European Conference on Operation Research, Bonn, Alemania, del 5 al 8 de julio (2009)
- [16] Urrutia, S., C. Ribeiro.: *Scheduling the Brazilian soccer tournament by integer programming maximizing audience shares under fairness constraints.* ,En 23rd European Conference on Operation Research, Bonn, Alemania, del 5 al 8 de julio (2009)
- [17] Van Voorhis.: *College basketball scheduling with travel swings.*, Computers y Industrial Engineering, Vol.48: 163-172, (2005)
- [18] Wolf Rodrigo.: *Programación matemática en la confección de fixtures del fútbol chileno*, (2009)
- [19] Wren A.: *Scheduling, Timetabling and Rostering - a Special Relationship*, Lecture Notes in Computer Science 1153. Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg, New York, págs. 46-75,1996.
- [20] R.A. Russell and J.M.Y. Leung.: *Devising a cost effective schedule for a baseball league.*, Operations Research, 42(4): 614625, (1994)
- [21] Michael Vizuete.: *La matemática y el futbol.*,
http://masquedeporteunapasion.webs.com/la_matematica_y_el_futbol.html

[22] Efrém Aviles Pino.: Asoguyas.,

<http://www.encyclopediadelecuador.com/temasOpt.php?Ind=2667Let=>