

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**"RELACION AGUA-CEMENTO-RESISTENCIA
EN CONCRETOS PREPARADOS
CON CEMENTOS PUZOLANICOS"**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

DANITZA NORA LOPEZ PACHECO

PROMOCION 1991-I

LIMA - PERU

1995

INDICE

SUMARIO

INTRODUCCION

CAPITULO 1: ANALISIS DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

1.1 INTRODUCCION	1
1.2 RELACIONES BASICAS	3
1.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES	9

CAPITULO 2: MATERIALES

2.1 CEMENTO	11
2.2 AGREGADO FINO	12
2.3 AGREGADO GRUESO	14
2.4 AGUA	16
2.5 ADITIVOS	16

CAPITULO 3: SELECCION DE LAS PROPORCIONES DE MEZCLA

3.1 SELECCION POR EL METODO DE MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS	
3.1.1 INTRODUCCION	36
3.1.2 PROCEDIMIENTO INICIAL	37
3.1.3 PROCEDIMIENTO FINAL	39
3.1.4 CONCLUSIONES PRELIMINARES	41

3.2 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI. PRIMER CASO:TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2".	
3.2.1 INTRODUCCION	49
3.2.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7	52
3.2.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6	55
3.2.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5	58
3.2.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4	61
3.3 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI. SEGUNDO CASO:TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4".	
3.3.1 INTRODUCCION	64
3.3.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7	65
3.3.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6	68
3.3.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5	70
3.3.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4	72

**CAPITULO 4: PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO PARA CADA
UNA DE LAS RELACIONES AGUA - CEMENTO**

4.1 INTRODUCCION	76
4.2 CONSISTENCIA	77
4.3 FLUIDEZ	79
4.4 PESO UNITARIO	81
4.5 CONTENIDO DE AIRE	83

CAPITULO 5: PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

5.1 METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS	85
5.2 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI PARA UN TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"	
5.2.1 INTRODUCCION	93
5.2.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7	94
5.2.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6	96
5.2.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5	98
5.2.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4	100
5.2.6 RESUMEN DE RESULTADOS	102
5.3 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI PARA UN TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"	
5.3.1 INTRODUCCION	105
5.3.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7	106
5.3.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6	108
5.3.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5	110
5.3.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4	112
5.3.6 RESUMEN DE RESULTADOS	114
5.4 MODULO DE ELASTICIDAD	117

CAPITULO 6: PROGRAMA DE DISEÑO POR COMPUTADORA
PARA LA SELECCION DE LAS PROPORCIONES
DE MEZCLAS PLASTICAS CUANDO SE UTILIZA
CEMENTO PUZOLANICO ATLAS TIPO IP

6.1 INTRODUCCION	119
6.2 ALGORITMO	121
6.3 DIAGRAMA DE FLUJO	124
6.4 LISTADO DEL PROGRAMA	131
6.5 EJECUCION DEL PROGRAMA	139
ALGUNOS EJEMPLOS	147

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS	149
7.2 METODO DEL COMITE 211 DEL ACI (AGREGADOS DE 1/2" Y 3/4" DE TMN)	153
7.3 CONCLUSIONES FINALES.	156

BIBLIOGRAFIA	158
--------------	-----

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2: MATERIALES

TABLA 2.1.1	ANALISIS QUIMICO DEL CLINKER	17
2.1.2	COMPOSICION DE LA PUZOLANA	18
2.1.3	ANALISIS QUIMICO DEL CEMENTO PUZOLANICO ATLAS TIPO IP	19
2.1.4	RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO PUZOLANICO ATLAS TIPO IP	20
TABLA 2.2.1	DESCRIPCION MINERALOGICA DEL AGREGADO FINO	21
2.2.2	PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO	22
2.2.3	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO	23
2.2.4	GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO LAVADO	25
2.2.5	PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO LAVADO	27
TABLA 2.3.1	DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL AGREGADO GRUESO	28
2.3.2	DESCRIPCION MINERALOGICA DEL AGREGADO GRUESO	29
2.3.3	PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"	30

2.3.4 PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"	31
2.3.5 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"	32
2.3.6 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"	34

CAPITULO 3: SELECCION DE LAS PROPORCIONES DE MEZCLA

TABLA 3.1.2.A VOLUMEN UNITARIO DE AGUA Y CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	44
3.1.2.B MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS	45
3.1.2.C MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS PARA AGREGADO GRUESO DE 1/2" VALORES EXTRAPOLADOS	46
TABLA 3.1.3.A VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES PARA MEZCLAS DE CONSISTENCIA PLASTICA EN LA UNIDAD CUBICA DE CONCRETO	47
3.1.3.B VALORES CORREGIDOS POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	48
TABLA 3.2.1.A VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA Y ASENTAMIENTO PARA TMN DEL AGREGADO GRUESO 1/2":	51
3.2.2 RELACION AGUA-CEMENTO 0.7	54

3.2.3	RELACION AGUA-CEMENTO 0.6	57
3.2.4	RELACION AGUA-CEMENTO 0.5	60
3.2.5	RELACION AGUA-CEMENTO 0.4	63

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES
DE LA MEZCLA Y ASENTAMIENTO PARA
TMN DEL AGREGADO GRUESO 3/4":

3.3.2	RELACION AGUA-CEMENTO 0.7	67
3.3.3	RELACION AGUA-CEMENTO 0.6	69
3.3.4	RELACION AGUA-CEMENTO 0.5	71
3.3.5	RELACION AGUA-CEMENTO 0.4	75

CAPITULO 4: PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO PARA
CADA UNA DE LAS RELACIONES AGUA-CEMENTO

TABLA 4.2.1	ASENTAMIENTO PARA CONCRETOS UTILIZANDO AGREGADO GRUESO DE TMN 1/2"	78
4.3	FLUIDEZ PARA MEZCLAS PLASTICAS	80
4.4	PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO	82
4.5	CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO	84

CAPITULO 5: PROPIEDADES DEL CONCRETO
AL ESTADO ENDURECIDO

- METODO DEL MODULO DE FINEZA DE
LA COMBINACION DE AGREGADOS

TABLA 5.1.A	RELACION AGUA-CEMENTO - RESISTENCIA EN COMPRESION	89
-------------	--	----

TABLA 5.1.B	RELACION PORCENTUAL	
	AGUA-CEMENTO - RESISTENCIA EN COMPRESION	90
5.1.C	RESISTENCIA EN COMPRESION - RELACION	
	AGUA-CEMENTO. (28 DIAS)	91
5.1.D	RESISTENCIA EN COMPRESION - RELACION	
	AGUA-CEMENTO. (60 DIAS)	92
	- SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211	
	DEL ACI PARA UN TMN DEL AGREGADO GRUESO	
	DE 1/2"	
	ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION	
	PROMEDIO OBTENIDOS. TMN 1/2":	
TABLA 5.2.2	RELACION AGUA-CEMENTO 0.7	95
5.2.3	RELACION AGUA-CEMENTO 0.6	97
5.2.4	RELACION AGUA-CEMENTO 0.5	99
5.2.5	RELACION AGUA-CEMENTO 0.4	101
5.2.6.A	RESISTENCIA PROMEDIO EN COMPRESION	
	OBTENIDAS PARA RELACIONES DE AGUA-	
	CEMENTO 0.4; 0.5; 0.6 Y 0.7.	
	TMN DEL AGREGADO GRUESO 1/2"	103
5.2.6.B	VALORES DE RELACION AGUA-CEMENTO	
	NECESARIOS PARA OBTENER RESISTENCIAS	
	DE 200, 250, 300, Y 350 KG/CM2	
	TMN DEL AGREGADO GRUESO 1/2"	104

- SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211
DEL ACI PARA UN TMN DEL AGREGADO GRUESO
DE 3/4"

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION
PROMEDIO OBTENIDOS. TMN 3/4":

TABLA 5.3.2	RELACION AGUA-CEMENTO 0.7	107
5.3.3	RELACION AGUA-CEMENTO 0.6	109
5.3.4	RELACION AGUA-CEMENTO 0.5	111
5.3.5	RELACION AGUA-CEMENTO 0.4	113
5.3.6.A	RESISTENCIA EN COMPRESION PROMEDIO OBTENIDAS PARA RELACIONES DE AGUA- CEMENTO 0.4; 0.5; 0.6 Y 0.7 TMN DEL AGREGADO GRUESO 3/4"	115
5.3.6.B	VALORES DE RELACION AGUA - CEMENTO NECESARIOS PARA OBTENER RESISTENCIAS DE 200, 250, 300 Y 350 KG/CM2 TMN DEL AGREGADO GRUESO 3/4"	116

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

TABLA 7.3.1	RELACION AGUA-CEMENTO - RESISTENCIA	157
7.3.2	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA PARA TMN DEL AGREGADO GRUESO 3/4"	158
7.3.3	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA PARA TMN DEL AGREGADO GRUESO 1/2"	158

SUMARIO

El Comité 211.1 del ACI ha elaborado tablas para la selección del agua de diseño de mezcla y de la relación agua-cemento en función de la resistencia de diseño y consistencia cuando se emplea cementos Portland Normal de la clasificación ASTM C 150. Sin embargo cuando se emplea cementos Portland Puzolánicos, que corresponden a la clasificación ASTM C 595, las mencionadas tablas dan valores que, al ser utilizados, no permiten obtener mezclas de la resistencia o consistencia deseadas.

El objetivo de la presente tesis es determinar tablas que permitan obtener los mejores contenidos de agua para relaciones agua-cemento de 0.4; 0.5; 0.6 y 0.7 y consistencias plásticas de 3" a 4" y también establecer relaciones entre la relación agua-cemento y la resistencia en compresión.

INTRODUCCION

Esta tesis tiene por finalidad determinar las mejores relaciones agua-cemento y los mas convenientes contenidos de agua por unidad cúbica de concreto, en aquellos casos en que se utiliza el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP en la preparación de mezclas de concreto cuya consistencia debe ser plástica y en las que se ha de emplear como agregado grueso piedra angular cuyo tamaño máximo nominal sea de 1/2" ó de 3/4".

La investigación que se va a desarrollar en la presente tesis ha sido motivada por la verificación práctica de muchas compañías constructoras en el sentido que, empleando los métodos de diseño tradicionales para concretos preparados con cemento Portland Normal, tanto las tablas que dan los contenido de agua por unidad cúbica de concreto, como aquellas que interrelacionan la resistencia en compresión a los 28 días con la relación agua-cemento de diseño, no son aplicables.

Verificada la anterior aseveración a nivel de Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, el esfuerzo ha estado encaminado a desarrollar un programa de diseño y a elaborar tablas para la selección de contenidos de agua y relaciones Agua-cemento - Resistencia en aquellos casos en que se emplea el cemento mencionado.

El método que se ha de describir como conclusión está referido a concretos de peso normal preparados con agregado angular y cemento puzolánico. Este concreto tendrá una trabajabilidad y consistencia que permitan una colocación fácil y adecuada en los encofrados.

En éste método no se ha considerado el efecto que la incorporación de aditivos de cualquier tipo podría tener sobre las propiedades del concreto.

Como todos los métodos de diseño el que se ha de presentar, como conclusión de nuestra investigación de laboratorio, representa una primera aproximación a proporciones que deben ser comprobadas por mezclas de prueba ya sea en obra o en laboratorio y ajustadas, si ello fuera necesario, para producir en el concreto las propiedades y características deseadas.

CAPITULO 1

ANALISIS DE LOS CRITERIOS DE DISEÑOS DE MEZCLAS

1.1 INTRODUCCION

El concreto que hemos utilizado se compone principalmente de agregados, cemento puzolánico y agua, no conteniendo otro material cementante ni aditivos químicos. Como es normal el concreto contiene una pequeña cantidad de aire atrapado, la cual ha sido determinada, si bien para la selección de las proporciones se ha trabajado con los valores del Comite 211 del ACI.

La selección de las proporciones del concreto se hizo tratando de lograr un balance adecuado entre la economía de la mezcla y los requerimientos de facilidad de colocación, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia. Teniendo en consideración que las características requeridas por el concreto están gobernadas por el uso que se va a dar a éste así como por las condiciones

que se espera han de encontrarse al momento de la colocación, es recomendable que dichas características se incluyan en las especificaciones de obra.

Si bien los métodos de la selección de las proporciones del concreto han experimentado un desarrollo creciente a partir de 1918 en que se enunció la teoría de la relación Agua-cemento Resistencia, es igualmente cierto que la introducción en el mercado de los cementos puzolánicos, que al tener peso específico y superficie específica diferentes a los de los cementos Portland normales modifican la demanda de agua y las propiedades del concreto, obliga a desarrollar nuevas formas de diseño de mezclas, materia ésta sobre la cual existe muy poca literatura.

1.2 RELACIONES BASICAS

Las proporciones del concreto deberán ser seleccionadas, en el caso en que se emplea cementos puzolánicos, teniendo en cuenta la trabajabilidad, densidad, resistencia y durabilidad a ser necesarias en una aplicación determinada. A continuación enunciaremos algunos conceptos básicos relacionados con dichas propiedades.

La manejabilidad de los concretos a base de los cementos puzolánicos (incluyendo propiedades de acabado satisfactoria) comprende conceptos usualmente acumulados en los términos "trabajabilidad" y "consistencia". Para propósitos de este análisis la trabajabilidad se considera como aquella propiedad de los concretos a base de los cementos puzolánicos la cual determina su capacidad para ser colocados y consolidados adecuadamente y tener un buen acabado sin que, en ningún caso, se presente segregación dañina. El concepto de trabajabilidad en nuestro caso involucra aspectos tales como la facilidad de moldeo, la cohesividad, y la compactibilidad. Al seleccionar la trabajabilidad

debe de recordarse que ella puede ser afectada por: la granulometría, perfil de las partículas y proporciones del agregado; la cantidad y calidad del cemento puzolánico empleado; y la consistencia de la mezcla.

La consistencia de las mezclas, definida de una manera general, es la movilidad relativa de éstas. Se mide en términos del asentamiento, cuanto mas alto es éste la mezcla es más fluida, y afecta a la facilidad con la cual el concreto deberá fluir durante la colocación. La consistencia del concreto está relacionada pero no es sinónimo de la trabajabilidad.

En concretos preparados con cemento puzolánico, los cuales han sido adecuadamente dosificados, el contenido unitario de agua requerido para producir un asentamiento determinado dependerá de muchos factores. La demanda de agua se incrementa conforme disminuye el peso específico del cemento é igualmente cuando aumenta su superficie específica. Adicionalmente los requerimientos de agua se incrementan conforme el agregado es de perfil más angular y de textura mas rugosa.

Igualmente, los requerimientos de agua de mezclado disminuyen conforme se incrementa el tamaño máximo de agregados bien graduados.

Aunque la resistencia a la compresión del concreto es considerada por muchos ingenieros como su característica más importante, otras tales como la durabilidad, la permeabilidad, y la resistencia al desgaste pueden a menudo ser importantes. Si bien nuestro estudio ha estado fundamentalmente orientado al de la resistencia a la compresión, ello no significa que de presentarse en las especificaciones otros requerimientos estos no deban de ser estudiados independientemente de los valores de resistencia a la compresión que pueden ser esperados cuando se utiliza cementos puzolánicos.

La resistencia a la compresión a la edad de 28 días es usualmente empleada como un índice de la calidad del concreto. Sin embargo debe recordarse que, en el caso de los cementos puzolánicos y específicamente cuando se emplea el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP, es importante determinar la resistencia a edades hasta de 60 días. La puzolana es un material que posee

propiedades cementantes unicamente en presencia de hidróxido de calcio y humedad. La reacción química resultante es lenta y se desarrolla en el tiempo por lo que la formación de gel debido a la reacción de hidratación puzolana - cal es un proceso lento y que se desarrolla en el tiempo, pudiendo obtenerse incrementos hasta del 25% dependiendo de las condiciones de curado y el tipo de puzolana.

Para un conjunto dado de materiales y condiciones la resistencia del concreto está determinada principalmente, por la cantidad neta de agua empleada por cantidad neta de cemento puzolánico. Las diferencias en la resistencia para una relación agua-material cementante puede deberse a: tamaño máximo del agregado, granulometría, textura superficial, perfil, resistencia, y tenacidad de las partículas del agregado; diferencias en los tipos y procedencia de los cementos puzolánicos; contenido de aire. En vista del número de factores y de la complejidad de los mismos la posibilidad de llegar a tablas de valor universal, en el caso de los concretos preparados con cementos puzolánicos, es prácticamente

imposible; este concepto debe ser tenido en cuenta tanto en el análisis de las tablas que se presentan en los diferentes capítulos, como en la utilización de las mismas. Una adecuada predicción de la resistencia a la compresión del concreto deberá basarse en mezclas de prueba preparadas con los materiales a ser utilizados.

En la presente tesis no se han efectuado estudios sobre la durabilidad del concreto. La razón principal ha sido la falta de equipos de laboratorio adecuados para realizar dichos estudios, sin embargo a nivel teórico se pueden hacer las siguientes afirmaciones:

Los concretos preparados con cementos puzolánicos, si se les dá un tiempo de curado adecuado que permita la formación de gel adicional, tendrán un buen comportamiento frente a los procesos de congelación en la medida que su porosidad capilar será menor. Igualmente serán menos permeables; tendrán un mejor comportamiento frente a un posible ataque por sulfatos, especialmente si el contenido de estos es menor de 1500 ppm; y la posibilidad de una reacción álcali - agregados será menor. Igualmente la

resistencia a la penetración de líquidos agresivos será mayor al disminuir la permeabilidad de los poros capilares. La densidad, referida como peso unitario de los concretos preparados con cemento normal, será ligeramente menor siempre que se utilice el mismo tipo de agregados.

Un aspecto muy importante a ser contemplado es el referido a la capacidad de desarrollo de calor durante el proceso de hidratación del cemento.

Los estudios efectuados en concretos preparados con cementos puzolánicos han demostrado en todos los casos que la presencia de la puzolana tiende a disminuir la velocidad de desarrollo del calor de hidratación así como el volumen total de este. Es evidente que en este aspecto existe una relación estrecha entre la cantidad de material de reemplazo, en nuestro caso particular 25%, y la velocidad y magnitud del calor desarrollado, siendo estas menores en la medida que el porcentaje de reemplazo aumenta. Infortunadamente la falta de equipo para determinación de calor de hidratación en cementos y/o concretos impidió la realización de ensayos sobre este aspecto.

1.3 CONSIDERACIONES ADICIONALES

Cuando se selecciona las proporciones de concretos en los cuales se emplea cementos puzolánicos debe de tenerse en consideración:

- a) La actividad química del material puzolánico y su efecto sobre la resistencia del concreto a diferentes edades.
- b) Los efectos sobre la demanda de agua necesaria por razones de trabajabilidad, consistencia y facilidad de colocación.
- c) El peso específico del cemento puzolánico y su efecto sobre el volumen de concreto producido en la tanda; en la medida que el rendimiento puede modificarse significativamente.
- d) El efecto que puede presentarse sobre propiedades críticas de concreto; tales como el tiempo de fraguado bajo condiciones de temperatura y humedad relativa ambientes, calor de hidratación, velocidad de desarrollo de resistencia y durabilidad.

- e) La cantidad de cemento puzolánico necesaria para lograr los requisitos de un concreto determinado es mayor que cuando se emplea un cemento normal tipo I.

CAPITULO 2

MATERIALES

2.1 CEMENTO

El SUPERCEMENTO PUZOLANICO "ATLAS", Tipo IP, es un cemento puzolánico, el cual se incluye dentro del grupo de Cementos Combinados de la Norma ASTM C 595.

Este cemento es obtenido por la molienda conjunta, a alta fineza, de una mezcla de 75% de Clinker de Cemento Portland y 25% de Puzolana, con la adición de Sulfato de Calcio.

El Clinker de Cemento Portland es fabricado por "Cementos Lima S.A.". Sus propiedades químicas se presentan en la Tabla 2.1.1.

La puzolana empleada por "Cementos Lima S.A." es extraída de una cantera cercana a la planta.

Esta puzolana, de acuerdo al fabricante, es de origen volcánico, pertenece a la edad cretácica, y está formada por la intercalación de Andesitas con matriz afanítica, porfirita y vidrio volcánico, con aporte posterior de pirita.

En esta puzolana hay 50% de material amorfo o vidrioso. La Tabla 2.1.2. presenta la composición de la puzolana empleada.

El Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP, tiene las características químicas y físicas que se indican en las Tablas 2.1.3. y 2.1.4.

2.2 AGREGADO FINO

El agregado fino procede de la Cantera "San Martín", la cual es un depósito fluvio aluvional ubicado en una quebrada de aproximadamente 2Km. por 3Km. de longitud. Los alrededores del depósito son intrusivos graníticos muy ricos en minerales oscuros (máficos) y micas. Los máficos se encuentran bastante oxidados y los feldespatos alterados, lo cual permite el fácil disgregamiento de la roca.

La cantera está ubicada a la altura del Km. 6.1 de la Carretera Central en la localidad de Vitarte.

La Descripción Mineralógica de la cantera se encuentra en la Tabla 2.2.1.

Las propiedades Físicas del Agregado Fino, determinadas de acuerdo a las recomendaciones de las Normas ASTM C33 e ITINTEC 400.017, se encuentran indicadas en la Tabla 2.2.2.

La Granulometría del Agregado Fino se presenta en la Tabla 2.2.3. y en el Gráfico Nº 1.

El contenido de Sulfatos es de 0.0008% .El porcentaje de Mica como mineral nocivo (14%) excede los límites permisibles en el agregado fino (12%).

Para certificar la influencia de las partículas más finas del agregado fino, se tomó una muestra representativa y se procedió a lavarla hasta eliminar el material que pasa la malla Nº 200.

Los resultados de los nuevos valores de la Granulometría, Módulo de Fineza y Superficie Específica se presentan en la Tabla 2.2.4.

2.3 AGREGADO GRUESO

Las dos muestras de Agregado Grueso utilizadas proceden de la Cantera "La Gloria", la cual está ubicada a la altura del Km. 14.8 de la Carretera Central en la localidad de Gloria Grande, en una quebrada amplia al pié de tres quebradas encañonadas. En los alrededores se tiene andesitas oscuras y frescas, las cuales constituyen el aporte principal del depósito.

El depósito es fluvio aluvial con material geologicamente mal clasificado, mayormente sedimentos finos, fragmentos líticos y muy poca arena. Se observa estratificación fina.

La Tabla 2.3.1. presenta la Descripción Petrográfica del material de la cantera "La Gloria".

La Tabla 2.3.2. presenta la Descripción Mineralógica del agregado grueso.

Se seleccionaron granulometrías de dos Tamaños Máximos Nominales de 1/2" y 3/4". Las Propiedades Físicas de cada una de estas granulometrías encuentran en las Tablas 2.3.3. y 2.3.4.

Las respectivas granulometrías se presentan en las Tablas 2.3.5. y 2.3.6., así como en los Gráficos NO 3 y NO 4.

El análisis químico de los agregados dió 0.0091 de sólidos disueltos y 0.0010 % de sulfatos.

Las partículas son angulosas a sub-angulosas con superficie rugosa. La roca presenta muy poca alteración, la predominante es la roca ígnea volcánica identificada como Andesita Basáltica de grano fino. Geológicamente el material de esta cantera se clasifica como muy bueno.

2.4 AGUA

En la elaboración de las mezclas de concreto se empleó agua potable de la red pública que abastece al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

2.5 ADITIVOS

En la elaboración de las muestras de concreto no se ha empleado ningún tipo de aditivo.

TABLA 2.1.1.

ANALISIS QUIMICO DEL CLINKER

COMPONENTES	SIMBOLOS	PORCENTAJE
Oxido de Sílice	SiO ₂	20.09
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	6.64
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	3.60
Oxido de Calcio	CaO	63.28
Oxido de Magnesio	MgO	3.69
Trióxido de Azufre	SO ₃	1.41
Oxido de Potasio	K ₂ O	0.94
Oxido de Sodio	Na ₂ O	0.22
Módulo de Silicato	MS	1.96
Módulo Silícico	Ms	3.02
Módulo Aluminico-Férrico	MAF	1.89
Módulo de Saturación	GS	95.25
Módulo Hidráulico	MH	2.09
Silicato Tricálcico	C ₃ S	55.13
Silicato Bicálcico	C ₂ S	16.01
Aluminato Tricálcico	C ₃ A	11.52
Ferro Aluminato Tetracálcico	C ₄ AF	10.95

TABLA 2.1.2.

COMPOSICION DE LA PUZOLANA

MATERIAL	PORCENTAJE
Cuarzo	18%
Feldesapato	15%
Anfibolita	3%
Hematita	10%
Material Arcilloso	4%
Material Amorfo	50%

Composición promedio de acuerdo al análisis mineralógico hecho por difracción con Rayos X.

TABLA 2.1.3.

ANALISIS QUIMICO DEL SUPERCEMENTO
ATLAS PUZOLANICO TIPO IP

COMPONENTES	SIMBOLOS	PORCENTAJE
Oxido de Sílice	SiO ₂	28.27
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	7.46
Oxido de Fierro	Fe ₂ O ₃	5.23
Oxido de Calcio	CaO	49.52
Oxido de Magnesio	MgO	2.77
Trióxido de Azufre	SO ₃	2.66
Oxido de Potasio	K ₂ O	0.82
Oxido de Sodio	Na ₂ O	0.88
Pérdida por calcinación	PC	2.77
Residuo Insoluble	RI	13.48
Sulfato de Calcio	SO ₄ Ca	4.52
Cal Libre	CaO	0.30

TABLA 2.1.4.

RESUMEN DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUPERCEMENTO

PUZOLANICO ATLAS TIPO IP

CARACTERISTICA	SUPERCEMENTO PUZOLANICO ATLAS	NORMA ITINTEC
Peso Específico	2.96 gr/cm ²	---
Superficie Específica	4,722 cm ² /gr	2,800 cm ² /gr (min)
Contenido de Aire	7.80%	12 % (max)
Consistencia Normal	27.10%	---
Tiempo de Fraguado:		
Fragua inicial	2 h 36 m	0 h 45 m (min)
Fragua final	3 h 52 m	7 h 00 m (min)
Expansión Autoclave	0.12 %	0.50 % (max)
Res. a la Compresión		
24 horas	122 Kg/cm ²	---
3 días	219 Kg/cm ²	120 Kg/cm ² (min)
7 días	283 Kg/cm ²	190 Kg/cm ² (min)
28 días	404 Kg/cm ²	240 Kg/cm ² (min)
Color	Rosado terroso	

TABLA 2.2.1.

DESCRIPCION MINERALOGICA DEL AGREGADO FINO

COMPOSICION MINERALOGICA	%
Fragmentos de granodiorita	22
Feldespatos	35
Cuarzo	26
Mica (biotita)	12
Horblenda	2
Mica (flogopita)	2

TABLA 2.2.2.

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico de Masa	2.59 gr/cm ³
Peso específico de masa saturado Superficialmente Seco	2.61 gr/cm ³
Peso Específico Aparente	2.65 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.87 %
Peso Aparente Suelto	1590 Kg/M ³
Peso Aparente Compactado	1820 Kg/M ³
Contenido de Humedad	1.8 %
Material que pasa la malla N ^o 200	12.7 %
Superficie Específica	53.8 cm ² /gr
Módulo de Fineza	2.93
Durabilidad	4.06 %
Partículas Friables	3.00 %
Impurezas inorgánicas	No significativo

TABLA 2.2.3.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO

TAMIZ NO	PESO RET. EN C/MALLA	%RET.EN C/MALLA	%ACUM RET.	%ACUM. QUE PASA	%RET/D _p
4	41.1	3.93	3.93	96.07	0.714
8	166.50	15.91	19.84	80.16	0.357
16	247.00	23.61	43.45	56.55	0.179
30	198.80	19.00	62.45	37.55	0.189
50	139.60	13.34	75.79	24.21	0.044
100	120.40	11.51	87.30	12.70	0.022
+100	132.90	12.70	100.00	0.0	0.011

Σ 293

Σ 2376.36

$$\text{MODULO DE FINEZA} = \frac{293}{100} = 2.93$$

$$\text{SUPERFICIE ESPECIFICA} = \frac{6}{100} \times \frac{2376.36}{2.65} = 53.8 \text{ Cm}^2/\text{Gr.}$$

TABLA 2.2.4.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO LAVADO

TAMIZ NO	PESO RET. EN C/MALLA	%RET.EN C/MALLA	%ACUM RET.	%ACUM. QUE PASA	%RET/D _p
4	25.3	5	5	95	7.0
8	66.2	13	18	82	36.4
16	137.3	28	46	54	156.4
30	125.8	25	71	29	280.9
50	86.1	17	88	12	386.4
100	40.5	8	96	4	363.64
+100	18.8	4	100	0	363.64

Σ 500

Σ 324

Σ 1594.38

$$\text{MODULO DE FINEZA} = \frac{324}{100} = 3.24$$

$$\text{SUPERFICIE ESPECIFICA} = \frac{6}{100} \times \frac{1594.38}{2.68} = 35.70 \text{ Cm}^2/\text{Gr.}$$

TABLA 2.2.5.

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO FINO LAVADO

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico de masa	2.63 gr/cm ³
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	2.65 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.68 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	0.85 %
Contenido de humedad	0.70 %
Superficie específica	35.70cm ² /gr
Módulo de fineza	3.24

TABLA 2.3.1.

DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL AGREGADO GRUESO

COMPOSICION LITOLOGICA	%
Andesita basáltica de grano fino	94.2
Andesita basáltica de grano fino poco alterado	2.5
Roca silisificada	2.3
Granodiorita intensamente alterada	0.7
Granito intensamente alterado	0.3

TABLA 2.3.2.

DESCRIPCION MINERALOGICA DEL AGREGADO GRUESO

COMPOSICION MINERALOGICA	%
Fragmentos de roca andesítica	51
Fragmentos de roca intrusiva	9
Frag. de roca intensamente alterada	6.3
Frag. de roca silisificada	4.3
Fragmentos de cuarzita	3.3
Feldespato	15.3
Cuarzo	4.8
Hematita	2
Hornblenda	2
Mica (biotita)	1
Otros	1

TABLA 2.3.3.

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico de masa	2.73 gr/cm ³
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	2.76 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.80 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	0.91 %
Peso aparente suelto	1400 Kg/M ³
Peso aparente compactado	1530 Kg/M ³
Contenido de humedad	0.60 %
Material que pasa la malla N ^o 200	0.24 %
Superficie específica	1.52 cm ² /gr
Módulo de fineza	6.94
Durabilidad	0.35 %
Partículas friables	--
Abrasión	11.30 %

TABLA 2.3.4.

PROPIEDADES FISICAS DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"

PROPIEDAD	VALOR
Peso específico de masa	2.79 gr/cm ³
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	2.80 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.83 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	0.51 %
Peso aparente suelto	
Peso aparente compactado	1650 Kg/M ³
Contenido de humedad	0.75 %
Material que pasa la malla Nº 200	0.18 %
Superficie específica	1.16 cm ² /gr
Módulo de fineza	7.62
Durabilidad	0.18 %
Partículas friables	---
Abrasión	11.30 %

TABLA 2.3.5.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

TAMIZ NO	PESO RET. EN C/MALLA	% RET. EN C/MALLA	%ACUM. RET.	% ACUM. QUE PASA
2"				100
1½"				100
1"				100
¾"				100
1/2"	3924.0	77.09	77.09	22.91
3/8"	865.0	16.99	94.08	5.92
1/4"	281.5	5.53	99.61	0
FONDO	19.8	0.39	100.00	

TABLA 2.3.6.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"

TAMIZ NO	PESO RET. EN C/MALLA	% RET. EN C/MALLA	% ACUM. RET.	% ACUM. QUE PASA
2"				
1½"				
1"				
3/4"	3165.4	63	63	37
1/2"	1531.3	31	94	6
3/8"	266.2	5	99	1
1/4"	37.1	1	100	0
FONDO	--			

CAPITULO

SELECCION DE LAS PROPORCIONES DE MEZCLA

3.1 SELECCION POR EL METODO DE MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

3.1.1. INTRODUCCION

El objetivo central de esta tesis fué, como ya se ha indicado, determinar, empleando el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados, las mejores proporciones para mezclas de consistencia plástica y relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7, en aquellos casos en que se emplea el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP.

La razón fundamental de la elección de éste método fué que en el método del

Comité 211 del ACI; el contenido de agregado fino se determina manteniendo constante el volúmen absoluto y peso seco del agregado grueso en la mezcla por lo que este último será siempre el mismo sea cual fuere la resistencia deseada.

En el caso de los cementos puzolánicos, específicamente en nuestro caso en que se trabaja con el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP, cuyo uso se ha incrementado y muchas de cuyas propiedades y comportamiento aún no son bién conocidos, se intentaba determinar si era aplicable el procedimiento del Método del Módulo de Fineza de la combinación de Agregados.

3.1.2. PROCEDIMIENTO INICIAL

La selección del contenido de agua de la mezcla se hizo empleando los valores de la Tabla 6.3.3. del Método del Comité 211.1.91 del ACI. Se entró a la tabla con un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2" y el valor del agua elegido de 216 Lt/M

correspondía a una mezcla de consistencia plástica con un asentamiento de 3" a 4" y un contenido de aire atrapado de 2.5%.

Para la selección de los volúmenes absolutos de agregados fino y grueso; se determinó en primer lugar el volumen absoluto de pasta y, los volúmenes absolutos de los agregados fino y grueso se determinaron en función del módulo de fineza de la combinación de **agregados**, entrando a la Tabla 3.1.2.B.

Si se observa la mencionada tabla se aprecia que para un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2", el módulo de fineza la combinación de agregados tiene un valor de 4.69 para un contenido de 9 sacos/M³. En nuestro caso particular, habiéndose obtenido contenidos de cemento con valores hasta de 13 bolsas, fué necesario extrapolar tal como se muestra en la Tabla 3.1.2.C. llegándose a un valor de módulo de fineza de la combinación de agregados de 5.0, lo que modificó significativamente la relación fino - grueso, obteniéndose mezclas de consistencia seca con

valores de contenido de cemento muy altos y una evidente distorsión en la relación agregado fino - grueso.

3.1.3. PROCEDIMIENTO FINAL

Obtenidos los resultados ya indicados se procedió a **diseñar** mezclas de consistencia plástica aplicando criterios experimentales en combinación con los valores del coeficiente "m" obtenidos de la Tabla 3.1.2.B.

La **Tabla** 3.1.3.A. presenta los valores de cemento agua de diseño, agregado fino seco y agregado grueso seco, que permiten obtener, con el tipo de cemento deseado y los agregados fino y grueso utilizados, **mezclas de** consistencia plástica con valores de asentamiento entre 3" a 4", buena trabajabilidad y, en general, exudación limitada.

La Tabla 3.1.3.B. presenta los valores de los materiales integrantes de la mezcla corregida por humedad del agregado, pero manteniendo las condiciones de consistencia, trabajabilidad y exudación indicadas.

Es con los valores de esta tabla que se procedió a preparar en el Laboratorio las muestras de ensayo y las correspondientes probetas estándar para las relaciones agua cemento de diseño de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7; a fin de determinar la resistencia a la compresión a los 28 días y como un valor complementario, no necesario para los fines de esta tesis, valores a los 60 días.

3.1.4 CONCLUSIONES PRELIMINARES

En relación con la utilización del Método de Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados en la determinación de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, en aquellos casos en que se utiliza un cemento puzolánico de las características del Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP; se pueden establecer las siguientes conclusiones preliminares:

- 10 En aquellos casos en que se va a utilizar mezcla de concreto con un contenido de cemento mayor de 9 bolsas/m³. no es recomendable el empleo de este método por la inseguridad en el valor del coeficiente "m", el cual podría distorsionar significativamente los contenidos de agregado fino y grueso de la unidad cúbica de concreto y, como consecuencia, alterar las propiedades del concreto al estado fresco y al estado endurecido.
- 20 Los valores del contenido unitario de agua de diseño indicados en la Tabla 6.3.3 del

método del Comité 211.1-91 del ACI no son aplicables al método de diseño de módulo de fineza de la combinación de los agregados dado que en el caso de cementos puzolánicos no permiten obtener consistencias plásticas.

30 Si, aplicando este método, se persiste en obtener mezclas de consistencia plástica sin modificación de la resistencia ni de la relación agua cemento, es necesario incrementar significativamente el contenido de agua con el consiguiente incremento en el contenido de cemento.

40 Todos los ensayos iniciales de laboratorio han dado mezclas de consistencia seca, poco trabajables, de baja exudación y de difícil colocación en los moldes.

50 La tabla para la obtención del módulo de fineza de la combinación de agregados desarrollada por Walker (Tabla 3.1.2.b.) dá valores para contenidos de cemento hasta de 9 sacos/m³. Cuando se trabaja con cantidades mayores, como ha sido nuestro

caso, para las relaciones agua - cemento de 0.5 y 0.6, es necesario extrapolar el valor de "m", lo que dá por resultado un aumento importante en el contenido de agregado fino con las consecuencias que ello tiene sobre la resistencia y trabajabilidad de la mezcla, obligando a incrementar el contenido de agua para lograr la consistencia deseada.

- 60 En general, los resultados obtenidos, de no modificarse el contenido de agua, solo permiten lograr mezclas muy consistentes y de difícil trabajabilidad.
- 70 El análisis de los valores de resistencia en compresión a los 28 y 60 días; así como la presentación de las tablas que correlacionan la resistencia en compresión con la relación agua-cemento, cuando se aplica el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados a mezclas preparadas con el Super Cemento Puzolánico Atlas Tipo IP, se efectuará en el capítulo correspondiente.

TABLA 3.1.2.A.

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA
Y
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

ASENTAMIENTO	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximo nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
	3/8	1/2	3/4	1"	1½"	2"	3"	6"
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO								
1" á 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" á 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" á 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
AIRE ATRAPADO %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

TABLA 3.1.2.B.

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.	Módulo de fineza de la combinación de agregados que dá las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/m ³ indicados.			
	6 sacos	7 sacos	8 sacos	9 sacos
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

TABLA 3.1.2.C.

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS
PARA AGREGADO GRUESO DE 1/2"
VALORES EXTRAPOLADOS

CONTENIDO DE CEMENTO SACOS / METRO CUBICO	VALORES DE " m "
6	4.46
7	4.54
8	4.61
9	4.69
10	4.77
11	4.85
12	4.93
13	5.00
14	5.09
15	5.17
16	5.25
17	5.33
18	5.41

TABLA 3.1.3.A.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES
 PARA MEZCLAS DE CONSISTENCIA PLASTICA
 EN LA UNIDAD CUBICA DE CONCRETO

RELACION AGUA-CEMENTO	0.4	0.5	0.6	0.7
AGUA DE DISEÑO (Lt)	302	255	230	225
CEMENTO (Kg)	755	510	383	320
AGREGADO FINO SECO (Kg)	430	730	916	1000
AGREGADO GRUESO SECO (Kg)	720	765	755	740
ASENTAMIENTO (Pulg.)	4"	3"	4"	3 3/4

TABLA 3.1.3.B.

VALORES CORREGIDOS POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

RELACION AGUA-CEMENTO	0.4	0.5	0.6	0.7
AGUA EFECTIVA (lt.)	300	258	224	228
CEMENTO (bolsas)	755	510	383	321
AGREGADO FINO HUMEDO (Kg)	435	725	932	1010
AGREGADO GRUESO HUMEDO (Kg)	725	770	760	745
ASENTAMIENTO	4"	3"	4"	3 3/4"
TRABAJABILIDAD	trab	trab.	poco trab	muy trab
EXUDACION	poca	normal	poca	normal

3.2 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI

PRIMER CASO:

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1/2"

3.2.1. INTRODUCCION

Como ya se ha indicado en 3.1.1., el objetivo central de esta tesis era determinar las mejores proporciones para mezclas de consistencia plástica y relaciones agua cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 en aquellos casos en que se emplea el Supercemento Atlas Puzolánico Tipo IP.

La aplicación del método del módulo de fineza de la combinación de agregados, a la cual se ha hecho referencia en la sección 3.1, ha demostrado los inconvenientes de trabajar con este método en aquellos casos en que, por sobrepasar el contenido de cemento las 9 bolsas/m³, es necesario extrapolar el valor de "m" en la Tabla 3.1.2.B.

Teniendo en consideración las razones indicadas en el acápite 3.1.4. se contempló

la posibilidad de realizar ensayos adicionales, empleando para la selección de las proporciones de la mezcla los criterios del Comité 211 del ACI y agregado grueso de 1/2" de tamaño máximo nominal, cuyas propiedades físicas se encuentran indicadas en la Tabla 2.3.3. y cuya granulometría está indicada en la Tabla 2.3.5. y en la curva granulométrica No 2.

En este caso particular no se intentó trabajar con una consistencia determinada sino, para las relaciones agua-cemento elegidas, se trató de obtener los contenidos de agua que nos garantizara consistencias secas, plásticas o fluídas con mínimos contenidos de cemento.

En esta parte de la selección de las proporciones de la mezcla se ha trabajado con la Tabla 3.1.2.A. que nos da valores unitarios de agua para concretos sin aire incorporado y con la Tabla 3.2.1.A. que nos da el coeficiente b/b_0 que permite calcular el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TABLA 3.2.1.A

**VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO
POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del fino.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

3.2.2. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7

La primera mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.7 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2".

La primera selección de proporciones se efectuó tratando de encontrar una mezcla de consistencia plástica. Para ello se entró a la Tabla 3.2.1.A. y se seleccionó, en base a la experiencia adquirida en las dosificaciones correspondientes a la sección 3.1 un contenido de agua de diseño de 240 lt/m³ el cual correspondía en la tabla a un agregado de TMN de 3/8" en una mezcla de consistencia fluida.

La selección de las proporciones se efectuó para un coeficiente de b/b_0 de 0.6.

Las proporciones seleccionadas permitieron obtener un asentamiento de 6" con 8 bolsas/m³.

Como el valor del asentamiento obtenido correspondía a una mezcla fluida, se diseñó una nueva mezcla de prueba con 230 lt./m³ y se

calculó las nuevas proporciones de los materiales, obteniéndose la consistencia de 4" correspondiente a una mezcla plástica, con un contenido de cemento de 7.7 bls/m³.

En nuestro deseo de ajustar los resultados para obtener una mezcla de consistencia seca, se ajustó nuevamente el agua esta vez a 225 lts/m³. obteniéndose, para un contenido de cemento de 7.6 bls/m³ una consistencia de 3".

Como resultado de ajustes posteriores en el diseño se obtuvieron los valores de las proporciones de mezcla que corresponden a asentamientos de 5" y 2".

La Tabla 3.2.2. muestra, para la relación agua-cemento de diseño de 0.7, los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado, a ser utilizados para obtener mezclas con consistencias de 2" a 6".

Para cada una de estas cinco mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días, los cuales se presentan en el Capítulo 5.

TABLA 3.2.2.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.7					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
240	343	900	800	2.5%	6"
235	336	924	800	2.5%	5"
230	329	943	800	2.5%	4"
225	321	962	800	2.5%	3"
220	314	984	800	2.5%	2"

3.2.3. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6

La segunda mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.6 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2".

La primera selección de proporciones se efectuó tratando, igualmente, de encontrar una mezcla de consistencia plástica. Para ello, en base a la experiencia adquirida en la dosificación para una relación agua-cemento de diseño 0.7, se seleccionó un contenido inicial de agua de diseño de 230 lt./m³., obteniéndose un asentamiento del orden de 3" que correspondía a mezclas de consistencia plástica con un contenido de cemento de 9 sacos/m³.

A continuación se seleccionó nuevas proporciones con la finalidad de obtener una mezcla de consistencia fluida, lográndose un valor de 5" para un contenido de agua de diseño de 240 lt./m³. y un contenido de cemento de 9.4 sacos/m³.

Siempre dentro del marco de los objetivos de la tesis, se buscó las proporciones más

convenientes para un asentamiento de 2" correspondiente a mezclas de consistencia seca, obteniéndose dicho valor para un contenido de agua de diseño de 225lt./m³.

La Tabla 3.2.3. muestra para la relación agua-cemento de diseño de 0.6 los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado, a ser utilizados para obtener mezclas con consistencias de 2" a 5".

Para cada una de estas cuatro mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días, los cuales se presentan en el Capítulo 5.

TABLA 3.2.3.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.6					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
240	400	850	800	2.5%	5"
235	392	873	800	2.5%	4"
230	383	895	800	2.5%	3"
225	375	915	800	2.5%	2"

3.2.4. RELACION AGUA CEMENTO DE 0.5

La tercera mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.5 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2".

Como en los dos casos anteriores la primera selección de proporciones se efectuó tratando de encontrar una mezcla de consistencia plástica. Para ello, nuevamente en base a la experiencia adquirida en las dos dosificaciones anteriores, se seleccionó un contenido inicial de agua de diseño de 240 lt./m³., el cual nos permitió obtener un asentamiento del orden de 3", que correspondía a mezclas de consistencia plástica, con un contenido de cemento de 11.2 sacos/m³.

A continuación se seleccionaron nuevas proporciones a fin de obtener mezclas de consistencia seca y fluida, lográndose mezclas de 4" y 5" de asentamiento para contenidos de agua de diseño de 250 y 260 lt./m³.

Diseños complementarios permitieron obtener consistencias de 2" correspondientes a mezclas

secas con contenidos de agua de 230 lt./m³ y contenidos de cemento de 10.8 sacos/m³.

La Tabla 3.2.4. muestra, para la relación agua-cemento de 0.5, los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado a ser utilizados para obtener mezclas con consistencias de 2" a 5".

Para cada una de estas cuatro mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días, los cuales se presentan en el Capítulo 5.

TABLA 3.2.4.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.5					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
260	520	690	800	2.5%	5"
250	500	735	800	2.5%	4"
240	480	780	800	2.5%	3"
230	460	825	800	2.5%	2"

3.2.5. RELACION AGUA CEMENTO DE 0.4

La cuarta mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.4 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2".

En este caso particular, teniendo en consideración la baja relación agua-cemento de diseño, se inició los ensayos con un contenido de agua de diseño de 250 lt/m³, requiriéndose un contenido de cemento de 14.7 bolsas/M³ para obtener una consistencia seca de 1". En este estado de los ensayos era evidente que el contenido de cemento sobrepasaba los valores recomendables tanto del punto de vista económico, como del comportamiento de la pasta al estado fresco (agrietamiento por contracción, cambio de volumen, calor de hidratación).

A fin de verificar la magnitud del riesgo de trabajar mezclas de relación agua-cemento tan baja con cementos puzolánicos, los cuales como ya se indicó tienden a secar la mezcla debido a su alta superficie específica, se estudió una mezcla de 3" de asentamiento, la cual requería

270 litros de agua de diseño y 15.8 bolsas/m³., descartándose la misma por las razones ya indicadas.

En el caso de relaciones agua-cemento tan bajas como 0.4, de emplearse el Supercemento Atlas Puzolánico Tipo IP, se considera que es más recomendable buscar el asentamiento deseado mediante el empleo de plastificantes que cumplan con los requisitos de la norma ASTM C 494, eligiéndose de preferencia los denominados Superplastificantes.

La Tabla 3.2.5. presenta para la relación agua-cemento de diseño, de 0.4 los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado que tendrían que ser utilizados para obtener mezclas de consistencia seca ó plástica.

Como se apreciará en el Capítulo 5 al presentar los valores de resistencia a la compresión a los 28 días; para esta relación agua-cemento de diseño y el tipo de cemento empleado, la utilización del mismo no se justifica si se desea obtener altos valores de la resistencia, salvo que, como ya hemos indicado, se utilicen aditivos.

TABLA 3.2.5

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.4					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
250	625	620	800	2.5%	1"
270	675	520	800	2.5%	3"

3.3 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI

SEGUNDO CASO :

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

3.3.1. INTRODUCCION :

Las consideraciones indicadas en el acápite 3.2.1., que nos permitieron determinar proporciones de mezcla empleando el método del comité 211 del ACI y agregado grueso de Tamano Máximo Nominal de 1/2", son igualmente válidas en este segundo caso en que se empleó agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4" cuyas propiedades físicas se encuentran indicadas en la Tabla 2.3.4. y cuya granulometría es, la indicada en la tabla 3.2.6. y en la Curva Granulométrica NO 3.

Como en el caso anterior se trabajó con relaciones agua-cemento de 0.4, 0.5, 0.6, y 0.7. Igualmente se trató de obtener los contenidos de agua que garanticen consistencias secas, plásticas o fluidas con mínimos contenidos de cemento.

Como en el caso contemplado en el acápite 3.2.1.A. que nos dá el coeficiente b/b_0 el cual permite calcular el volúmen de agregado grueso por unidad de volúmen de concreto.

3.3.2. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7

La primera mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".

La primera selección de proporciones se efectuó tratando de encontrar una mezcla de consistencia plástica. Para ello se entró a la Tabla 3.2.1.A. y se seleccionó, en base a la experiencia adquirida en las dosificaciones correspondientes a las secciones 3.1 y 3.2, un contenido de agua de diseño de 220 Lt./M³, el cual correspondía en la tabla a un agregado de tamaño máximo nominal ligeramente menor de 1/2" en una mezcla de consistencia plástica, con un agregado de tamaño máximo nominal entre 3/4" y 1/2" en una mezcla de consistencia fluida.

La selección de las proporciones se efectuó para un coeficiente b/b_0 de 0.6.

Las proporciones de mezcla seleccionadas permitieron obtener un asentamiento de 3 1/2" con 7.4 bolsas/M3.

Como el valor del asentamiento obtenido correspondía a una mezcla de consistencia plástica, se diseñó una nueva mezcla de prueba con 230 lt./M3 y se calculó las nuevas proporciones de los materiales, obteniéndose la consistencia de 5" correspondiente a una nueva mezcla fluida con un contenido de cemento de 7.7 bolsas/M3. una consistencia de 2"

La Tabla 3.3.2. muestra, para relación agua-cemento de diseño de 0.7, los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado a ser utilizados para obtener mezclas con consistencias de 3" a 5".

Para cada una de estas tres mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días, los cuales se presentan en el Capítulo 5.

TABLA 3.3.2.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.7					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
230	329	780	990	2%	5"
220	314	813	990	2%	4"
210	300	865	990	2%	3"

3.3.3. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6

La segunda mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.6 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".

La primera selección de proporciones se efectuó tratando de encontrar una mezcla de consistencia plástica, para ello en base a la experiencia adquirida en la dosificación para una relación agua-cemento de diseño de 0.7, se seleccionó un contenido inicial de agua de diseño de 230 lt./M3. obteniéndose un asentamiento del orden de 5" que correspondía a mezclas de consistencia fluida con un contenido de cemento de 9 sacos/M3.

A continuación se seleccionó nuevas proporciones con la finalidad de obtener mezclas de consistencia plástica, logrando un valor de 4" para un contenido de agua de diseño de 220 lt./M3. y un contenido de cemento de 8.6 bolsas/M3.

Trabajando dentro de los objetivos de la tesis se buscó las proporciones más convenientes para consistencias de 3" y 2",

TABLA 3.3.3.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.6					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
230	383	735	990	2%	5"
220	367	775	990	2%	4"
210	350	820	990	2%	3"
205	342	840	990	2%	2"

obteniéndose dichos valores para contenidos de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado a ser utilizados para obtener mezclas con consistencias de 2" a 5".

Para cada una de estas cuatro mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días los cuales se presentan en el Capítulo 5.

3.3.4. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5

La tercera mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de 0.5 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".

La primera selección de las proporciones se efectuó tratando de encontrar una mezcla de consistencia plástica para ello se seleccionó un contenido inicial de agua de diseño de 230 lt./M³, el cual nos permitió obtener un asentamiento del orden de 3" con un contenido de cemento de 10.8 bolsas/M³.

A continuación se seleccionaron nuevas proporciones a fin de obtener mezclas de

TABLA 3.3.4.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.5					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
240	480	620	990	2%	4"
230	460	665	990	2%	3"
220	440	710	990	2%	2"

consistencias seca y fluida, lográndose mezclas de 4" y 2" de asentamiento para contenidos de agua de diseño de 240 lt./M³ y 220 lt./M³.

La Tabla 3.3.4. muestra, para la relación agua-cemento de 0.5 los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado utilizados para obtener mezclas con consistencias de 2" a 5" de consistencia.

Para cada una de estas tres mezclas seleccionadas se determinaron valores de resistencia a la compresión a los 28 días, los cuales se presentan en el Capítulo 5.

3.3.5. RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4

La cuarta mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.4 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".

En este caso, teniendo en consideración la baja relación agua-cemento de diseño, se inició los ensayos con un contenido de agua de diseño de 250 lt./M³., requiriéndose un

contenido de cemento de 14.7 bolsas/M3. para obtener una consistencia seca de 1 1/2". Al igual que en el caso del agregado de tamaño máximo nominal de 1/2", era evidente que el contenido de cemento puzolánico necesario para obtener mezclas de consistencias plásticas o fluidas sobrepasaría los valores recomendables tanto del punto de vista económico como del comportamiento de la pasta al estado fresco. A fin de verificar lo indicado se preparó mezclas con contenidos de agua de diseño de 245 lt./M3. y 255 lt./M3., a las cuales correspondían contenidos de cemento de 14.4 sacos/M3. y 15 sacos/M3., obteniéndose asentamientos de únicamente de 1 1/4" y 1 3/4" respectivamente.

Como en el caso de mezclas preparadas con agregado grueso de 1/2" de tamaño máximo nominal, es evidente que en este caso es más recomendable buscar el asentamiento deseado mediante el empleo de plastificantes que cumplan con los requisitos de la Norma ASTM C 494, eligiéndose de preferencia los denominados Superplastificantes.

La Tabla 3.3.5. presenta, para la relación agua-cemento de diseño de 0.4, los valores de agua de diseño, cemento, agregado fino seco, agregado grueso seco y aire atrapado que tendrían que ser utilizados para obtener mezclas de consistencia seca o semiseca.

Al igual que en el caso del tamaño máximo nominal de 1/2" para el agregado grueso, se apreciará en el Capítulo 5 al presentar los valores de resistencia a la compresión a los 28 días que para esta relación agua-cemento de diseño y el tipo de cemento empleado, la utilización del mismo no se justifica si se desea obtener altos valores de la resistencia. Salvo que como ya se ha indicado se utilicen aditivos.

TABLA 3.3.5.

VALORES DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA
Y ASENTAMIENTO

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.4					
AGUA	CEMENTO	FINO SECO	GRUESO SECO	AIRE	SLUMP
245	612	465	990	2%	1 1/4"
250	625	460	990	2%	1 1/2"
255	638	435	990	2%	1 3/4"

CAPITULO

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO PARA CADA UNA DE LAS RELACIONES AGUA-CEMENTO

4.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos en concreto fresco, teniendo como objetivo determinar las características del concreto cuando se trabaja con el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP.

Se realizaron los ensayos para el estado fresco para cada relación agua-cemento en los casos en que se empleó para el diseño el método del Módulo de Fineza de la Combinación de agregados. Dichos ensayos fueron los siguientes:

- Consistencia.
- Peso Unitario.
- Contenido de Aire.
- Fluidéz.

4.2 CONSISTENCIA

Esta propiedad del concreto fresco define el grado de humedad de la mezcla, que de acuerdo a ésta se clasifican en tres grupos:

Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento está entre cero y dos pulgadas.

Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento está entre tres y cuatro pulgadas.

Mezclas fluidas; aquellas cuyo asentamiento está entre cinco o más pulgadas.

Para las mezclas elaboradas los resultados para el asentamiento fueron obtenidos utilizando el "Cono de Abrahams", de acuerdo a la Norma ITINTEC 339.035.

El análisis de los ensayos de consistencia para los métodos de diseño utilizados y cada relación agua-cemento se desarrolló con todo detalle en el Capítulo 3.

TABLA 4.2.1

ASENTAMIENTO PARA CONCRETOS UTILIZANDO AGREGADO
GRUESO DE TMN 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO	0.4	0.5	0.6	0.7
ASENTAMIENTO	4"	3"	4"	3 3/4"
TRABAJABILIDAD	trab.	trab.	poco trab.	muy trab.

4.3 FLUIDEZ

Este ensayo se realizó siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM C 124-66; es un indicador de la consistencia de la mezcla y de su proclividad a la segregación mediante la medición de la expansión del concreto sometido a las sacudidas de la mesa de flujo.

El equipo está constituido por una mesa de bronce, de 30" de diámetro de modo que pueda saltar por medio de una excéntrica de 1/2"; el salto que se aplica produce segregación y si la mezcla no es cohesiva, las partículas más grandes del agregado se separarán y moverán al extremo de la mesa.

Con respecto a la segregación este ensayo es de gran valor y también es un indicador de mezclas rígidas, ricas y cohesivas; mas no mide trabajabilidad.

La fluidez se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ fluidez} = \left(\frac{D_{\text{prom.}} - 25}{25} \right) \times 100$$

TABLA 4.3.

FLUIDEZ PARA MEZCLAS PLASTICAS

RELACION AGUA-CEMENTO	Dprom. cm.	PORCENTAJE FLUIDEZ
0.4	46.3	85 %
0.5	50.5	102 %
0.6	44.22	77 %
0.7	49.21	97 %

4.4 PESO UNITARIO

Este ensayo se realizó de acuerdo a la Norma ITINTEC 339.046. El objetivo de este ensayo es determinar el grado de densidad de un concreto cualquiera y es empleado generalmente para hallar el rendimiento de la mezcla, el contenido de cemento, y también se emplea como índice del peso unitario del concreto endurecido.

Este ensayo de peso unitario del concreto fresco es un indicador de la calidad de composición granulométrica, de la compactación del concreto; así como para la determinación de la cantidad de materiales que intervienen en la preparación de la unidad cúbica de concreto.

$$\text{Vol balde} = \frac{(\text{Peso del balde} + \text{Agua}) - (\text{Peso del balde})}{1000}$$

$$\text{Rend.} = \frac{W_{\text{total}}}{\text{P.U.}}$$

TABLA 4.4

PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO

W/C	Wtot (Kg)	W bald (Kg)	Wbald +Conc (Kg)	W conc (Kg)	Vbald (M3)	P.U Kg/m3	Rend M3
0.4	44.3	9.0	41.70	32.7	0.0141	2319.2	0.02
0.5	45.5	9.0	42.40	33.4	0.0141	2368.8	0.02
0.6	46.1	9.0	43.00	34.0	0.0141	2411.4	0.02
0.7	46.0	9.0	42.25	33.2	0.0141	2358.2	0.02

4.5 CONTENIDO DE AIRE

Este ensayo se realizó siguiendo las indicaciones de la Norma ITINTEC 339.080; dicho ensayo tiene como objetivo controlar el contenido de aire atrapado en el concreto fresco; ya que este contenido de aire influye en la calidad del concreto.

Este ensayo se realizó con el equipo desarrollado por la Washington State Highway Commission, el cual por el método de la presión mide la cantidad de aire en el concreto fresco.

Los resultados de este ensayo efectuados para las mezclas de concreto de consistencia plástica diseñadas por el método de módulo de fineza de la combinación de agregados se muestran en la Tabla 4.5.

Teniendo en consideración que la Tabla NO 2 del Comité 211 del ACI dá un valor de aire atrapado del 2.5% para concretos preparados con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2", se observa en la Tabla 4.5 diferencias del orden del 20% al 24% para relaciones agua-cemento de diseño de 0.6 y 0.7. Ello puede ser

atribuido al mayor contenido de agua y la significativamente mas alta fineza del cemento utilizado.

TABLA 4.5

CONTENIDO DE AIRE EN EL CONCRETO FRESCO

RELACION AGUA-CEMENTO	CONTENIDO DE AIRE
0.4	2.4 %
0.5	2.7 %
0.6	1.9 %
0.7	2.0 %

CAPITULO 5

PROPIEDADES DEL CONCRETO AL ESTADO ENDURECIDO

5.1 METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

Como ya se ha indicado en el Capítulo 3, las primeras mezclas fueron seleccionadas empleando el método del Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados para Concretos de Consistencia Plástica y Relaciones Agua-Cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7.

Para cada una de estas alternativas se preparó probetas, siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM C 31, las mismas que fueron ensayadas a los 28 y 60 días. La Tabla 5.1.A presenta los resultados de los ensayos a las referidas edades en todos los casos para mezclas de consistencia plástica.

Del análisis de la Tabla 5.1.A realizado en forma conjunta con los valores de las Tablas 3.1.3.A. y 3.1.3.B., se pueden sacar varias conclusiones:

- A.- La resistencia de los concretos preparados con cementos puzolánicos exige, para mezclas de consistencia plástica, valores mayores que el 216 lt./m³ dado por la Tabla 3.1.2.A. que corresponde a la Tabla de Volúmen Unitario de Agua del Comité 211.1 del ACI. En todos los casos el agua de diseño fué significativamente mayor que el volúmen de agua recomendado.
- B.- La resistencia del concreto, en todos los casos tiende a incrementarse conforme la relación agua-cemento se hace menor, apreciándose en la Tabla 5.1.B. que a los 28 días la resistencia obtenida para una relación agua-cemento de 0.4 llega a ser 193 % mayor que la obtenida con una relación agua-cemento de 0.7. A los 60 días el incremento de resistencia llega a ser, para el mismo caso del 66 %.
- C.- En relación con las resistencias en sí mismas, para las mezclas seleccionadas y la consistencia plástica, el mejor valor obtenido es de unicamente 372 Kg/cm² a los 28 días,

descendiendo a un valor de 193 Kg/cm² para una relación agua-cemento de 0.7.

D.- El incremento entre los 28 y 60 días, tal como se aprecia en la Tabla 5.1.A., es muy pequeño en relaciones agua-cemento de 0.4 y 0.5; aumentando valores del 14% y 17% para relaciones agua-cemento de 0.6 y 0.7 respectivamente.

E.- En base a los resultados obtenidos se han preparado las Tablas 5.1.C. y 5.1.D. La primera de ellas dá los valores de las relaciones agua-cemento de diseño en peso para obtener a los 28 días las resistencias a la compresión indicadas. Si se compara esta tabla con la correspondiente del método de diseño del comité 211 del ACI se aprecia que, para mezclas de consistencia plástica empleando agregado grueso de Tamaño Nominal de 1/2", los valores de la relación agua-cemento de diseño en peso a ser empleados cuando se utiliza Cemento Portland Puzolánico son diferentes de aquellos que se utilizaría si se emplease cemento Portland normal.

F.- La Tabla 5.1.D ha sido elaborada teniendo en consideración que los cementos puzolánicos tienen

una generación de resistencia mas lenta, lo que permite un incremento que puede ser significativo en el tiempo. Si se dán condiciones adecuadas de curado, las relaciones agua-cemento de diseño en peso indicadas en la mencionada tabla permitiría obtener a los 60 días las resistencias indicadas.

G.- En conclusión se puede afirmar que dadas las características de peso específico y superficie específica de los cementos puzolánicos, y en este caso particular del Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP, debe emplearse los valores de agua de diseño indicadas en la Tabla 3.1.3.A. , si se desea obtener mezclas de consistencia plástica. Para las relaciones Resistencia a la Compresión - relación agua-cemento, debe emplearse los valores de las Tablas 5.1.C. y 5.1.D ya sea que se determine la resistencia a la compresión para 28 ó 60 días.

TABLA 5.1.A.

RELACION AGUA/CEMENTO - RESISTENCIA EN COMPRESION

W/C	SLUMP	f'c (Kg/cm ²)		INCREMENTO
		28 días	60 días	
0.4	4"	372	375	1 %
0.5	3"	318	327	3 %
0.6	4"	266	302	14 %
0.7	3 3/4"	193	226	17 %

TABLA 5.1.B

RELACION PORCENTUAL

AGUA/CEMENTO - RESISTENCIA EN COMPRESION

W/C	SLUMP	% f'c	
		28 días	60 días
0.7	3 3/4"	100	100
0.6	4"	138	134
0.5	3"	165	145
0.4	4"	193	166

TABLA 5.1.C

RESISTENCIA EN COMPRESION - RELACION AGUA-CEMENTO

28 DIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (Kg/cm ²)	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO
200	0.69
250	0.57
300	0.53
350	0.44

TABLA 5.1.D.

RESISTENCIA EN COMPRESION - RELACION AGUA-CEMENTO

60 DIAS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 60 DIAS (Kg/cm ²)	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO
200	0.73
250	0.67
300	0.60
350	0.45

5.2 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI PARA UN TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

5.2.1 INTRODUCCION :

Habiéndose determinado los valores de la resistencia a la compresion para diferentes relaciones Agua/Cemento en mezclas de consistencia plástica, e igualmente habiéndose determinado las principales ventajas e inconvenientes en la aplicación del Método del Módulo de Fineza de la combinación de agregados cuando se trabaja con cementos puzolánicos, se efectuaron, tal como se indica en el acápite 3.2, ensayos adicionales.

Para estos ensayos la selección de las proporciones de mezcla se efectuó siguiendo los criterios del Comité 211 del ACI, empleando agregado grueso de 1/2" de tamaño máximo nominal. Tal como se ha señalado en el acápite 3.2.1. se trató de determinar la resistencia en compresión obtenible para mezclas de consistencias secas, plásticas o fluídas en relaciones agua-cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7.

5.2.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7

Los primeros resultados de ensayos de resistencia correspondieron a una relación agua-cemento de diseño de 0.7 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2". En el acápite 3.2.2. se ha detallado el procedimiento seguido para selección de proporciones en los diferentes asentamientos.

La Tabla 5.2.2. presenta las resistencias en compresión promedio obtenidas para dichos asentamientos así como la resistencia promedio de 212 Kg/cm² para una relación agua-cemento de diseño de 0.7.

Si se compara el valor obtenido con el de 193 Kg/cm² que para esta misma relación se obtiene aplicando el método del módulo de fineza de la combinación de agregados se encuentra un incremento en la resistencia del 11.4% se encuentra un incremento en la resistencia del 11.4% a los 28 días. Para contenidos de cemento prácticamente iguales.

TABLA 5.2.2.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDOS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.7			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (Litros)	f'c Kg/cm ²
6"	8.0	240	216
5"	7.9	235	213
4"	7.7	230	211
3"	7.5	225	211
2"	7.3	220	209
			212

5.2.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6

La segunda mezcla estudiada aplicando el método del Comité 211 del ACI correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.6 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2". En el acápite 3.2.3. se ha detallado el procedimiento seguido para selección de proporciones en los diferentes asentamientos.

La Tabla 5.2.3. presenta las resistencias en compresión promedio obtenidas para dichos asentamientos así como la resistencia promedio de 257 Kg/cm² para una relación agua-cemento de diseño de 0.6.

Si se compara el valor obtenido con el de 266 Kg/cm² que para esta misma relación se obtiene aplicando el método del módulo de fineza de la combinación de agregados se encuentra un decremento en la resistencia del 3% a los 28 días para contenidos de cemento prácticamente iguales.

TABLA 5.2.3

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDOS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.6			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c (Kg/cm ²)
5"	9.4	240	254
4"	9.2	235	256
3"	9.0	230	258
2"	8.8	225	260
			257

5.2.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5

La tercera mezcla estudiada aplicando el método del comité 211 del ACI correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.5 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2". En el acápite 3.2.4. se ha detallado el procedimiento seguido para la selección de proporciones en los diferentes asentamientos.

La Tabla 5.2.4. presenta las resistencias en compresión promedio obtenidas para dichos asentamientos así como la resistencia promedio de 338 Kg/cm² para una relación agua-cemento de diseño de 0.5.

Si se compara el valor obtenido con el de 318Kg/cm² que para esta misma relación se obtiene aplicando el método del módulo de fineza de la combinación de agregados; se encuentra un incremento en la resistencia del 6.3 % a los 28 días para contenidos de cemento prácticamente iguales.

TABLA 5.2.4.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDOS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.5			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c (Kg/cm ²)
5"	12.2	260	345
4"	11.8	250	340
3"	11.3	240	333
2"	10.8	230	332
			338

5.2.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4

La cuarta mezcla estudiada aplicando el método del Comité 211 del ACI correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.4 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2". En el acápite 3.2.5. se ha detallado el procedimiento seguido para selección de proporciones en los diferentes asentamientos.

En este caso particular se obtuvo una resistencia de 365 Kg/cm² para un contenido de cemento de 14.7 bolsas/m³ en una consistencia seca de 1 1/4", como se muestra en la Tabla 5.2.5.

Como ya se indicó en el acápite no se continuaron los ensayos para mezclas de consistencia plástica ó fluída dado el contenido de cemento que ellas demandarían.

La resistencia obtenida de 365 Kg/cm² a los 28 días no es muy alta y podría ser fácilmente mejorada si se redujera el contenido de agua de la mezcla y se incrementara la trabajabilidad mediante el empleo de aditivos plastificantes o superplastificantes.

TABLA 5.2.5.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDOS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 1/2"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.4			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c (Kg/cm2)
1 1/4"	14.7	250	365

5.2.6 En base a los resultados obtenidos en las mezclas preparadas con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2" se puede elaborar las Tablas 5.2.6.A. y 5.2.6.B., la primera de ellas dá las resistencias promedio en compresión que pueden ser obtenidas para relaciones agua-cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 cuando se trabaja con Cemento Portland Puzolánico Atlas Tipo IP, y agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2".

La Tabla 5.2.6.B. dá los valores de la relaciones agua-cemento necesarias para alcanzar resistencias a la compresión de 200, 250, 300 y 350 Kg/cm².

TABLA 5.2.6.A

RESISTENCIA PROMEDIO EN COMPRESION
OBTENIDAS PARA RELACIONES DE
AGUA/CEMENTO 0.4, 0.5, 0.6 Y 0.7
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1/2"

W/C	$f'c$ (Kg/cm ²)
0.4	365
0.5	338
0.6	257
0.7	212

TABLA 5.2.6.B.

VALORES DE RELACION AGUA/CEMENTO
NECESARIOS PARA OBTENER RESISTENCIAS DE
200, 250, 300 Y 350 Kg/Cm²
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1/2"

$f'c$ (Kg/cm ²)	W/C
200	0.73
250	0.60
300	0.54
350	0.45

5.3 SELECCION POR EL METODO DEL COMITE 211 DEL ACI PARA UN TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO DE 3/4"

5.3.1. INTRODUCCION :

Habiéndose determinado los valores de la resistencia a la compresión para diferentes relaciones agua-cemento en mezclas de diferente consistencia, aplicando el Método del comité 211 del ACI para un Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso de 1/2", se efectuó un estudio complementario para las mismas condiciones de consistencia y relaciones agua-cemento pero en este caso para un agregado grueso cuyo tamaño máximo nominal es de 3/4" y cuya granulometría y propiedades físicas están indicadas en las Tablas 2.3.4. y 2.3.6. y en el Gráfico Nº 3 del Capítulo 2.

5.3.2 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.7

Los primeros resultados de los ensayos complementarios de resistencia correspondieron a una relación agua-cemento de diseño de 0.7 en un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4". En el acápite 3.3.2. se ha detallado el procedimiento seguido para la selección de las proporciones en los diferentes asentamientos.

La Tabla 5.3.2. presenta las resistencias en compresión promedio obtenidas para asentamientos que corresponden a mezclas de consistencias secas plásticas y fluidas, así como la resistencia promedio de 222 Kg/cm² para una relación agua-cemento de diseño de 0.7.

Si se compara el valor obtenido con el de 212 Kg/cm² que para esta misma relación se obtiene cuando se trabaja con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2" se encuentra un incremento de resistencia de 5% si se compara la resistencia promedio obtenida con el valor promedio de 193 Kg/cm² que se alcanza cuando se diseña aplicando el método del Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

TABLA 5.3.2.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDOS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.7			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c (Kg/cm ²)
5"	7.7	230	229
4"	7.4	220	229
2"	7.0	210	209
			222

5.3.3 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.6

La segunda mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.6 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4". El procedimiento seguido para la selección de las proporciones se encuentra detallado en el acápite 3.3.3.

La Tabla 5.3.3. presenta la resistencia en compresión promedio obtenida para asentamientos que corresponden a mezclas secas, plásticas y fluidas, así como la resistencia promedio de 267 Kg/cm² para una relación agua-cemento de diseño de 0.6.

Si se compara este valor con el obtenido cuando se trabaja con un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2" se aprecia un incremento del orden del 4%. Igualmente se observa que el promedio obtenido es prácticamente igual al que para esta relación agua-cemento se obtiene aplicando el método del Módulo de Fineza de la combinación de agregados.

TABLA 5.3.3.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDAS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.6			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c
5"	9.0	230	277
4"	8.6	220	270
3"	8.2	210	263
2"	8.0	205	259
			267

5.3.4 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.5

La tercera mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de 0.5 con un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4; el procedimiento de diseño se encuentra indicado en el acápite 3.3.4.

La Tabla 5.3.4. presenta las resistencias promedio obtenidas para asentamientos de 3" y 4" así como la resistencia a la compresión promedio de 314 Kg/cm² que corresponde a una relación agua-cemento de diseño de 0.5.

En este caso particular es importante indicar que no se obtuvo mezclas fluidas aún cuando se incrementó el contenido de agua y que igualmente no se pudo obtener mezclas de consistencia seca sin desvirtuar el procedimiento de diseño, recomendado por el comité 211 del ACI.

La resistencia promedio obtenida es 8% menor que aquellas que se consigue trabajando con piedra de 1/2" de tamaño máximo nominal. Igualmente la resistencia es 2% menor que aquella que se obtiene aplicando el método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados.

TABLA 5.3.4.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDAS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.5			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c (Kg/cm ²)
4"	11.3	240	321
3"	10.8	230	307
			314

5.3.5 RELACION AGUA-CEMENTO DE 0.4

La cuarta mezcla estudiada correspondió a una relación agua-cemento de diseño de 0.4 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".

En este caso particular solo se pudo obtener asentamientos que corresponden a mezclas de consistencia seca con contenidos de cemento y agua bastante altos. Como ya se indicó en el acápite 3.3.5. no se efectuaron ensayos para mezclas de consistencias plásticas ó fluídas, dado el alto contenido de cemento que ello demandaría.

La resistencia promedio obtenida de 368 Kg/cm² es practicamente igual a la que se consigue trabajando con agregado grueso de 1/2" y, como en este caso, podría ser facilmente mejorada si se redujera el contenido de agua de la mezcla y se incrementara la trabajabilidad mediante el empleo de aditivos plastificante o superplastificantes.

TABLA 5.3.5.

ASENTAMIENTO Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PROMEDIO OBTENIDAS
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

RELACION AGUA-CEMENTO 0.4			
SLUMP	CEMENTO (bolsas)	AGUA (litros)	f'c
1 3/4"	15.0	255	382
1 1/2"	14.7	250	356
1 1/4"	14.4	245	366
			368

5.3.6 En base a los resultados obtenidos en mezclas preparadas con agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4" se puede elaborar las tablas 5.3.6.A y 5.3.6.B, la primera de ellas dá las resistencias promedio en compresión que pueden ser obtenidas en relaciones agua-cemento de 0.4, 0.5, 0.6 y 0.7 cuando se trabaja con Supercemento Portland Puzolánico Atlas Tipo IP y agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4".

La Tabla 5.3.6.B dá los valores de la relación agua-cemento necesarias para alcanzar resistencias de 200, 250, 300 y 350 Kg/cm².

TABLA 5.3.6.A.

RESISTENCIA EN COMPRESION PROMEDIO
OBTENIDAS PARA RELACIONES DE
AGUA/CEMENTO 0.4, 0.5, 0.6 Y 0.7
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

W/C	f'c (Kg/cm ²)
0.4	368
0.5	314
0.6	267
0.7	222

TABLA 5.3.6.B.

VALORES DE RELACION AGUA/CEMENTO
NECESARIOS PARA OBTENER RESISTENCIAS DE
200, 250, 300 Y 350 Kg/cm²
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 3/4"

$f'c$ (Kg/cm ²)	W/C
200	0.75
250	0.64
300	0.53
350	0.43

5.4 MODULO DE ELASTICIDAD

En un intento de verificar la relación entre la resistencia en compresión y el Módulo de Elasticidad Estático del concreto, se prepararon probetas estándar para ensayo a los 28 y 60 días.

Si bien se encontró una adecuada correlación entre la resistencia a la rotura de estas probetas y la de aquellas utilizadas para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto; se observó que el módulo de elasticidad estático, determinado mediante el ensayo de los espejos ópticos, o espejos Marthans, daba en las lecturas resultados muy variables que al ser incorporados a los cálculos significaban valores del coeficiente "C" sumamente irregulares.

Teniendo en consideración el error que podría significar para los calculistas el asumir valores no compatibles con la realidad se decidió, en forma conjunta con el asesor, no considerar los valores del módulo de elasticidad estático determinados.

Igualmente, y a título de recomendación, es conveniente que el Laboratorio de Ensayo de Materiales utilice para determinación del módulo de elasticidad estático procedimientos mas modernos, tales como el de los deformómetros, a fin de garantizar valores acordes con la calidad del concreto que está siendo utilizado.

CAPITULO

PROGRAMA DE DISEÑO POR COMPUTADORA PARA LA SELECCION DE LAS PROPORCIONES DE MEZCLAS PLASTICAS CUANDO SE UTILIZA CEMENTO PUZOLANICO ATLAS TIPO IP

6.1 INTRODUCCION:

En el presente capítulo se ha desarrollado un programa para obtener los valores de diseño para mezclas plásticas (asentamiento de 3" a 4"). Este programa está basado en los resultados obtenidos en nuestros ensayos.

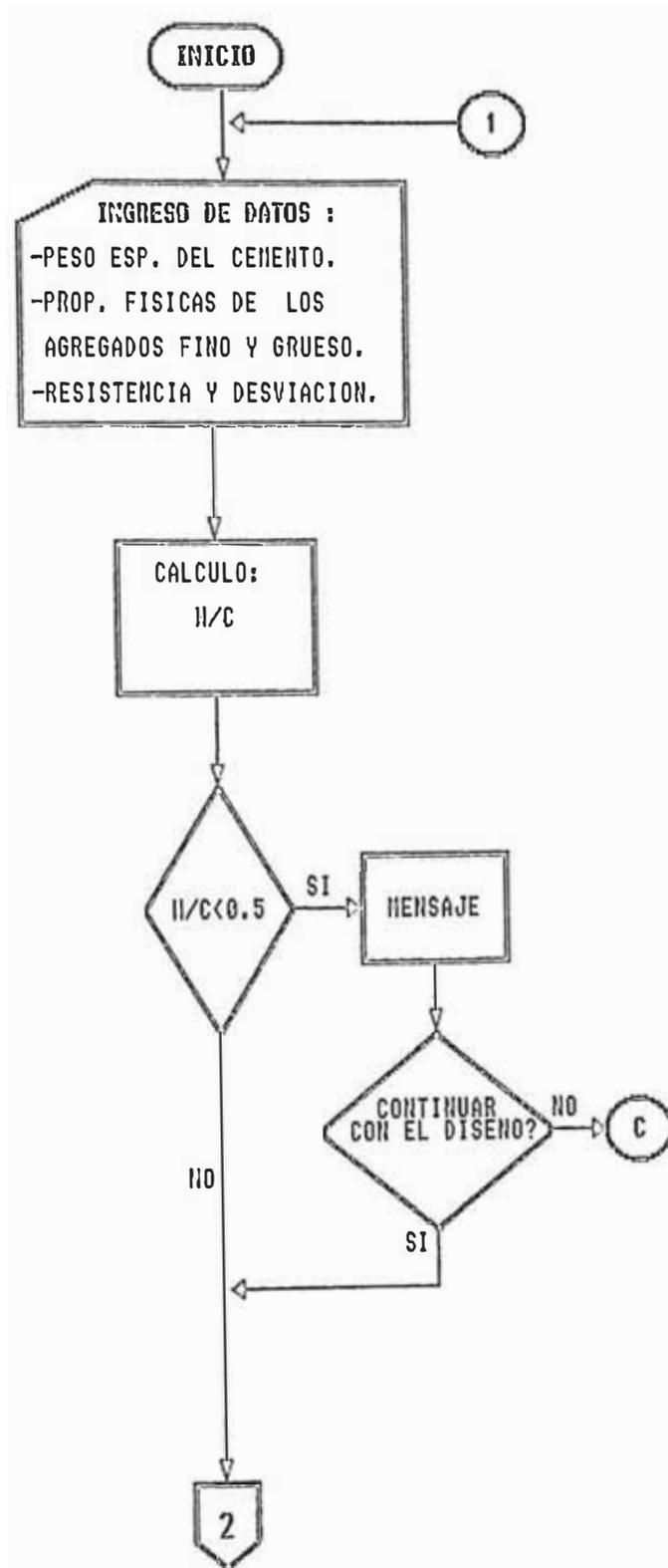
Se procedió a hacer el programa en base al desarrollo del procedimiento de diseño del método empleado, para este caso el método del ACI.

Este programa específicamente será utilizado para los diseños de mezclas cuando se utilice el Super cemento Puzolánico Atlas Tipo IP; y de los resultados, de ser el caso, se harán los ajustes necesarios.

Las interpolaciones han sido efectuadas siguiendo el método de Lagrange.

A continuación mostramos el algoritmo, diagrama de flujo, listado y desarrollo del programa con algunos ejemplos.

G.2 ALGORITMO:



6.5 EJECUCION DEL PROGRAMA

Al iniciar el programa; la pantalla nos presenta el siguiente cuadro:

** UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA **

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROGRAMA DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DE
LAS PROPORCIONES DE MEZCLAS PLÁSTICAS
UTILIZANDO CEMENTO PUZOLÁNICO ATLAS TIPO IP

PROGRAMA PREPARADO POR :

Ing. DANITZA LOPEZ PACHECO

Vs. 1.0

presione cualquier tecla para continuar...

BALF-95

Siguiendo la indicación del primer cuadro; presionamos cualquier tecla y enseguida se nos mostrará un cuadro solicitándonos los datos necesarios para el diseño de mezcla:

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS):	RESISTENCIA: 0 f'c (Kg/cm ²)
Peso Específico (gr/cc): 0.00	DESVIACION : 0 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO:	AGREGADO FINO:
Tamaño Max. Nominal: 0 (1): 1/2"	Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 0.00
(2): 3/4"	Modulo de Fineza: 0.00
Peso seco compactado (Kg/m ³): 0	
Peso Espec.de masa (gr/cm ³) : 0.00	

Procedemos a introducir los datos respectivos:

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Especifico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 170 f'c (Kg/cm2) DESVIACION : 70 (Kg/cm2)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2" (2): 3/4"	AGREGADO FINO: Peso Espec.de nasa (gr/cm3): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
Peso seco compactado (Kg/m3): 1,500 Peso Espec.de nasa (gr/cm3) : 2.79	Son correctos los datos (S/N).. S

Confirmados nuestros datos, el programa nos muestra los valores de diseño y nos preguntará si deseamos corregir los valores por humedad de los agregados:

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Específico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 170 f'c (Kg/cm2) DESVIACION : 70 (Kg/cm2)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2" (2): 3/4" Peso seco compactado (Kg/m3): 1,500 Peso Espec.de masa (gr/cm3) : 2.79	AGREGADO FINO: Peso Espec.de masa (gr/cm3): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
** R E S U L T A D O S **	
** VALORES DE DISEÑO **	
CEMENTO (Kg/m3) =	360.33
AGUA DE DISEÑO(Lt/m3) =	230.21
AGREGADO FINO SECO(Kg/m3) =	915.95
AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m3)=	796.50
Corregir humedad de agregados(S/N). N	

En caso de no desear los valores corregidos por humedad de los agregados se nos preguntará a la vez si deseamos otro diseño, con lo cual se inicializa o finaliza el programa; dependiendo de la respuesta afirmativa o negativa:

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Especifico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 170 f'c (Kg/cm ²) DESVIACION : 70 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2" (2): 3/4" Peso seco compactado (Kg/m ³): 1,500 Peso Espec.de masa (gr/cm ³) : 2.79	AGREGADO FINO: Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
** R E S U L T A D O S **	
** VALOR ES DE DISENO **	
CEMENTO (Kg/m ³) =	360.33
AGUA DE DISENO(Lt/m ³) =	230.21
AGREGADO FINO SECO(Kg/m ³) =	915.95
AGR EGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)=	796.50
Continuar con otro Diseno (S/N).. N	

En el caso de desear corregir los valores de diseño por humedad de los agregados, se nos solicitará los datos correspondientes:

** INTRODUCCION DE DATOS **			
CEMENTO (ATLAS):		RESISTENCIA:	170 f'c (Kg/cm ²)
Peso Especifico (gr/cc): 2.97		DESVIACION :	70 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO:		AGREGADO FINO:	
Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2"		Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 2.71	
(2): 3/4"		Modulo de Fineza: 2.99	
Peso seco compactado (Kg/m ³): 1,500			
Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 2.79			
** R E S U L T A D O S **			
** VALORES DE DISEÑO **		** INGRESE LOS DATOS **	
CEMENTO (Kg/m ³)	= 360.33	GRUESO	FINO
AGUA DE DISEÑO(Lt/m ³)	= 230.21	Porc.de Absorc.(%):	0.00 0.00
AGREGADO FINO SECO(Kg/m ³)	= 915.95	Cont.de Humedad(%):	0.00 0.00
AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)	= 796.50		
Corregir humedad de agregados(S/N). S			

Ingresando los datos necesarios para dicha corrección :

** INTRODUCCION DE DATOS **			
CEMENTO (ATLAS):		RESISTENCIA:	170 f'c (Kg/cm2)
Peso Específico (gr/cc): 2.97		DESVIACION :	70 (Kg/cm2)
AGREGADO GRUESO:		AGREGADO FINO:	
Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2"		Peso Espec.de masa (gr/cm3): 2.71	
(2): 3/4"		Modulo de Fineza: 2.99	
Peso seco compactado (Kg/m3): 1,500			
Peso Espec.de masa (gr/cm3) : 2.79			
** R E S U L T A D O S **			
** VALORES DE DISEÑO **		** INGRESE LOS DATOS **	
CEMENTO (Kg/m3)	= 360.33	GRUESO	FINO
AGUA DE DISEÑO(Lt/m3)	= 230.21	Porc.de Absorc.(%):	0.59 1.07
AGREGADO FINO SECO(Kg/m3)	= 915.95	Cont.de Humedad(%):	0.75 0.75
AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m3)=	796.50	-Son correctos los datos(S/N)..N	
Corregir humedad de agregados(S/N).		S	

Confirmados nuestros datos, se nos mostrará los valores de la Mezcla de Prueba; que son los valores de diseño corregidos ya por humedad de los agregados, con lo cual hemos desarrollado completamente el Programa de Diseño de Mezclas Plásticas cuando se utiliza Cemento Puzolánico Atlas Tipo IP.

** INTRODUCCION DE DATOS **			
CEMENTO (ATLAS):		RESISTENCIA:	170 f'c (Kg/cm ²)
Peso Especifico (gr/cc): 2.97		DESVIACION :	70 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO:		AGREGADO FINO:	
Tamano Max. Nominal: 1	(1): 1/2"	Peso Espec.de masa (gr/cm ³):	2.71
	(2): 3/4"	Modulo de Fineza:	2.99
Peso seco compactado (Kg/m ³):	1,500		
Peso Espec.de masa (gr/cm ³):	2.79		
** R E S U L T A D O S **			
** VALORES DE DISEÑO **		** MEZCLA DE PRUEBA **	
CEMENTO (Kg/m ³)	= 360.33	CEMENTO (Kg/m ³)	= 360.33
AGUA DE DISEÑO (Lt/m ³)	= 230.21	AGUA EFECTIVA (Lt/m ³)	= 231.86
AGREGADO FINO SECO (Kg/m ³)	= 915.95	AGREGADO FINO SECO (Kg/m ³)	= 922.82
AGREGADO GRUESO SECO (Kg/m ³)	= 796.50	AGREGADO GRUESO SECO (Kg/m ³)	= 802.47
		Continuar con otro Diseño (S/N).. S	

ALGUNOS EJEMPLOS:

En el caso de relaciones agua-cemento bajas, es más recomendable buscar el asentamiento deseado mediante el empleo de plastificantes; nosotros hemos considerado para el programa el siguiente mensaje dado el caso en que la relación agua-cemento sea menor de 0.5.

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Especifico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 250 f'c (Kg/cm2) DESVIACION : 84 (Kg/cm2)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2" (2): 3/4" Peso seco compactado (Kg/m3): 1,500 Peso Espec.de nasa (gr/cm3) : 2.79	AGREGADO FINO: Peso Espec.de nasa (gr/cm3): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
** R E S U L T A D O S **	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>Relación W/C es 0.48 menor que 0.5 Se recomienda usar aditivo plastificante ● superplastificante.!</p> <p>Desear continuar con Diseno (S/N)..-N-</p> </div>	

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Especifico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 250 f'c (Kg/cm ²) DESVIACION : 84 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 1 (1): 1/2" (2): 3/4" Peso seco compactado (Kg/m ³): 1,500 Peso Espec.de masa (gr/cm ³) : 2.79	AGREGADO FINO: Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
** R E S U L T A D O S **	
** VALORES DE DISEÑO **	** MEZCLA DE PRUEBA **
CEMENTO (Kg/m ³) = 525.23	CEMENTO (Kg/m ³) = 525.23
AGUA DE DISEÑO(Lt/m ³) = 250.97	AGUA EFECTIVA (Lt/m ³) = 251.97
AGREGADO FINO SECO(Kg/m ³) = 709.21	A GREGADO FINO SECO(Kg/m ³) = 714.53
AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)= 796.50	AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)= 802.47
usar aditivo plastificante o superplastificante.!	Continuar con otro Diseno (S/N).. N

** INTRODUCCION DE DATOS **	
CEMENTO (ATLAS): Peso Especifico (gr/cc): 2.97	RESISTENCIA: 250 f'c (Kg/cm ²) DESVIACION : 84 (Kg/cm ²)
AGREGADO GRUESO: Tamano Max. Nominal: 2 (1): 1/2" (2): 3/4" Peso seco compactado (Kg/m ³): 1,650 Peso Espec.de masa (gr/cm ³) : 2.83	AGREGADO FINO: Peso Espec.de masa (gr/cm ³): 2.71 Modulo de Fineza: 2.99
** R E S U L T A D O S **	
** VALORES DE DISEÑO **	** MEZCLA DE PRUEBA **
CEMENTO (Kg/m ³) = 506.75	CEMENTO (Kg/m ³) = 506.75
AGUA DE DISEÑO(Lt/m ³) = 242.14	AGUA EFECTIVA (Lt/m ³) = 241.64
AGREGADO FINO SECO(Kg/m ³) = 587.60	AGREGADO FINO SECO(Kg/m ³) = 592.01
AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)= 991.65	AGREGADO GRUESO SECO(Kg/m ³)= 999.09
usar aditivo plastificante o superplastificante.!	Continuar con otro Diseno (S/N).. S

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS

Cuando se aplicó el procedimiento de selección de las proporciones siguiendo las recomendaciones del Método del Módulo de Fineza de la Combinación de los Agregados, se ha encontrado las siguientes conclusiones:

a.- Los valores del contenido unitario de agua de diseño indicados en la Tabla 2 del Método del comité 211.1 del ACI que son indicados en la Tabla 3.1.2.A del capítulo pertinente en esta tesis, no permiten obtener mezclas de consistencia plástica. Todos los ensayos iniciales de laboratorio dieron mezclas de consistencia seca, poco trabajables, sin exudación y difícilmente colocables en los

moldes. En lugar de ellos se recomienda emplear los valores de agua de diseño indicados en la Tabla 3.1.3.A, seleccionándolos en función de la resistencia que se desea obtener y de la relación agua/cemento que permita alcanzar dicha resistencia.

- b.- Si se persiste en obtener por el procedimiento indicado, mezclas de consistencia plástica es necesario, como se ha visto en el Capítulo 3, incrementar significativamente el contenido de agua de diseño con el consiguiente incremento en el contenido de cemento y la posible reducción en la resistencia a la compresión del concreto.
- c.- La Tabla 3.1.2.B, que se refiere al módulo de fineza de la combinación de agregados en función del contenido de sacos de cemento en la unidad cúbica de concreto, da valores del módulo de fineza de la combinación de agregados para contenidos de cemento hasta de 9 sacos/M3. Cuando se trabaja con cantidades mayores es necesario extrapolar el valor de

"m", lo que significa un aumento importante en la consistencia de la mezcla que se vuelve muy poco trabajable y difícilmente colocable.

d.- Este método, en el caso de los cementos puzolánicos, no resulta muy conveniente para mezclas cuya relación agua/cemento de diseño es de 0.5 ó menor. En mezclas de relación agua/cemento de 0.4 se requieren contenidos de cemento del orden de 17 sacos/M³ si se desea obtener mezclas de consistencia plástica. El alto contenido de cemento sin una mejora importante en la resistencia, tiende a aumentar innecesariamente el costo de la unidad cúbica de concreto sin una mejora evidente y mas bien un deterioro significativo en las propiedades del concreto.

e.- El análisis del comportamiento del agregado fino y grueso, permite concluir que debe haber una adecuada proporción de ambos si se desea obtener mezclas de adecuada trabajabilidad y sin segregación cuando ellas son preparadas con cemento puzolánico.

Igualmente es necesario que exista una adecuada interrelación entre la granulometría del agregado grueso y su tamaño máximo nominal si se desea emplear la Tabla 2 del Método del Comité 211 del ACI.

f.- En relaciones agua/cemento de diseño de 0.5 ó menores, se considera que es conveniente emplear un aditivo plastificante o un superplastificante; si se desea obtener mezclas de consistencia plástica sin un excesivo contenido de agua y/o cemento puzolánico.

7.2 METODO DEL COMITE 211 DEL ACI (AGREGADOS DE 1/2" Y 3/4" DE TAMAÑO MAXIMO NOMINAL)

Cuando se aplicó el procedimiento de la selección de las proporciones siguiendo las recomendaciones del Comité 211 del ACI se ha encontrado las siguientes conclusiones:

- a.- Los valores de contenido de agua de diseño que son indicados en la Tabla 2 del Método del Comité 211 del ACI no son aplicables para mezclas con las relaciones agua-cemento seleccionadas. Las características del cemento obligan a trabajar con contenidos de agua mayores en todos los casos con el consiguiente incremento en el contenido de cemento.
- b.- En todos aquellos casos en que se intentó mantener los valores de la Tabla 2 se obtuvo mezclas de consistencia seca, poco trabajables y difícilmente colocables en los moldes.
- c.- Por las razones anteriores y las ya indicadas en los capítulos correspondientes se recomienda utilizar los valores de agua de

diseño indicados en las Tablas 5.2.2 a 5.2.5 y 5.3.2.A a 5.3.5 si se trabaja con agregado grueso de 1/2" ó de 3/4" de tamaño máximo nominal.

- d.- No es recomendable tratar de obtener mezclas de consistencia plástica con los valores del Comité 211 del ACI dado que ello significaría un incremento importante en el contenido de agua de diseño con el consiguiente aumento en el contenido de cemento y la reducción en la resistencia a la compresión del concreto.
- e.- Al igual que el Método del Módulo de Fineza de la combinación de agregados, el método del Comité 211 del ACI no resulta muy conveniente para mezclas de relación agua-cemento de diseño de 0.5 o menor en aquellos casos en que se trabaja con cementos puzolánicos. Altos contenidos de cemento sin mejoras importantes en la resistencia tienden a aumentar innecesariamente el costo de la unidad cúbica de concreto.
- f.- Al igual que en el caso del método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados se

considera conveniente la utilización de aditivos plastificantes o superplastificantes en aquellos casos en que se va emplear cementos puzolánicos en mezclas de relaciones agua-cemento bajas.

g.- El Programa de Diseño por Computadora indicado en el Capítulo 6, puede ser empleado para la selección de las proporciones de las mezclas en aquellos casos en que se desee una consistencia plástica y se utilice el Cemento Puzolánico Atlas Tipo IP. La correlación entre los resultados de los diseños efectuados empleando el programa y aquellos realizados por los métodos tradicionales permite garantizar la bondad del mismo, dentro de las limitaciones indicadas en los acápites anteriores.

7.3 CONCLUSIONES FINALES :

- a.- En la selección del contenido de agua de diseño para agregados gruesos de 1/2" y 3/4" de tamaño máximo nominal deben emplearse, de acuerdo a la resistencia deseada los valores indicados en las Tablas 5.2.2 a 5.2.5 en el caso del agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2" y 5.3.2 a 5.3.5 en el caso del tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4".
- b.- Para la selección de la relación agua-cemento de diseño para una resistencia a la compresión determinada se empleará, en el caso de los concretos preparados con el Supercemento Puzolánico Atlas Tipo IP, los valores indicados en la tabla 7.3.1.
- c.- Es conveniente que el Laboratorio de Ensayo de Materiales utilice para determinación del módulo de elasticidad estático procedimientos más modernos, tales como el de los deformómetros, a fin de garantizar valores acordes con la calidad del concreto que está siendo utilizado.

BIBLIOGRAFIA

EL SUPERCEMENTO ATLAS PUZOLANICO TIPO IP
Cementos Lima
Edición e impresión NICOLSA
Lima, Perú. 1988

CEMENTO - Boletines Técnicos Nº 1 al 28
Asociación de Productores de Cemento
Lima, Perú.

DISEÑO DE MEZCLAS
Enrique Rivva López
Editorial HOZLO S.C.R.L.
Lima, Perú. 1992

NORMAS DE ENSAYO DE ITINTEC
Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y
de Normas Técnicas.
Lima, Perú.

**EVALUACION DE LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS
DE LIMA METROPOLITANA**
Alex Rogelio Figueroa Pineda
Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú. 1988.

**EL MODULO DE ELASTICIDAD DE CONCRETOS PREPARADOS
CON CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO ATLAS TIPI IP**
Ana Victoria Torre Carrillo
Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú. 1993

**EFFECTOS DEL ADITIVO PLASTIFICANTE Y REDUCTOR DE AGUA
SIKAMENT SOBRE CONCRETOS PREPARADOS UTILIZANDO
CEMENTO PUZOLANICO**
Guillermo Mendoza Borgoño
Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú. 1993